



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105392102 B

(45)授权公告日 2017.07.25

(21)申请号 201510866187.8

(22)申请日 2015.11.30

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105392102 A

(43)申请公布日 2016.03.09

(73)专利权人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山  
武汉大学

(72)发明人 胡瑞敏 涂卫平 张茂胜 刘伯然

赵汉字 路丽菲 杜冰倩 查道琛

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 42222

代理人 严彦

(51)Int.Cl.

H04S 7/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 102823277 A,2012.12.12,

US 2014219455 A1,2014.08.07,

CN 104028640 A,2014.09.10,

审查员 李乔

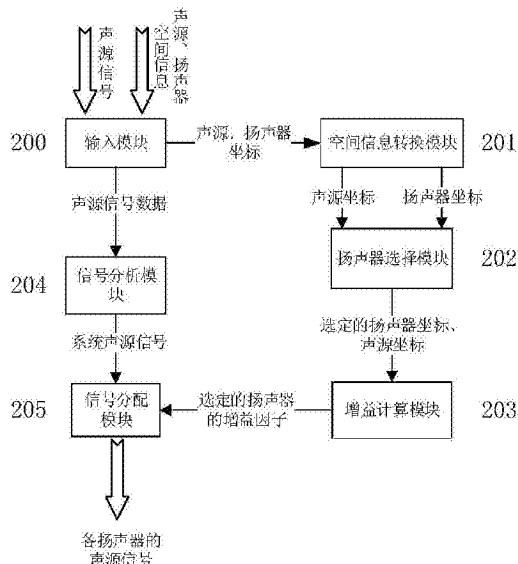
权利要求书4页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

用于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成方法及系统

(57)摘要

本发明提供用于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成方法及系统,创造性的针对大多数家庭或影院等所处环境,即非球面环境布置扬声器阵列,输入现有环境布置的扬声器的位置信息,需要模拟的虚拟声源的位置信息和声源信号,将位置转换为相对于原点的坐标;根据转换后的扬声器坐标和虚拟声源坐标进行分析选取,选择一至三个扬声器,将扬声器映射到以坐标原点为球心、以选定扬声器距坐标原点最短距离为半径形成的球面上形成虚拟扬声器,计算虚拟扬声器的增益,再基于声音传播的衰减规律,将虚拟扬声器的增益推导至原始的实际的扬声器,以达到使用增益后的声音信号重建虚拟声源的目的。



1. 一种用于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成方法,其特征在于,执行以下步骤:

步骤1,输入现有环境布置的扬声器的位置信息,需要模拟的虚拟声源的位置信息和声源信号;

步骤2,根据输入的扬声器的位置信息和虚拟声源的位置信息,以听音点为原点建立三维坐标系,对于扬声器阵列,将各个扬声器的位置转换为相对于原点的坐标,对于需要模拟的虚拟声源,计算虚拟声源的方位,将设定的虚拟声源的位置转换为相对于原点的坐标;

步骤3,根据转换后的扬声器坐标和虚拟声源坐标进行分析选取,

如果虚拟声源P坐标在某一扬声器与坐标原点的连线上,则选择该扬声器,提取选择的扬声器坐标和虚拟声源坐标;

如果虚拟声源P坐标在某两个扬声器坐标的连线与原点形成的平面上,则选择这两个扬声器,提取选择的扬声器坐标和虚拟声源坐标;

如果声源坐标不符合上述情况,计算扬声器与虚拟声源的方向关系,选择与虚拟声源同方向的三个扬声器;

步骤4,计算各扬声器的增益因子,

对于选定三个扬声器的情况,以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面,将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器,根据基于矢量的幅度平移公式计算虚拟扬声器的增益因子 $g_1$ ,然后基于声音传播的衰减规律,将虚拟扬声器的增益推导至原始实际的扬声器得到最终的增益因子 $g_2$ ,

所述基于矢量的幅度平移公式如下,

$$\mathbf{g}_1 = \mathbf{p}^T \mathbf{L}_{123}^{-1} = \begin{bmatrix} p_x & p_y & p_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_{x1} & l_{y1} & l_{z1} \\ l_{x2} & l_{y2} & l_{z2} \\ l_{x3} & l_{y3} & l_{z3} \end{bmatrix}^{-1} = [\mathbf{g}_{11} \quad \mathbf{g}_{12} \quad \mathbf{g}_{13}]$$

其中, $g_{11}$ 、 $g_{12}$ 、 $g_{13}$ 分别为三个选定扬声器的增益, $g_1 = [g_{11} \quad g_{12} \quad g_{13}]$ ;记 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 为三个选定扬声器 $L_1(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ 、 $L_2(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ 、 $L_3(l_{x3}, l_{y3}, l_{z3})$ 相对听音点的坐标向量表达, $l_i = [l_{xi} \quad l_{yi} \quad l_{zi}]$ , $i=1, 2, 3$ ;定义矩阵 $L_{123} = [l_1, l_2, l_3]^T$ , $p = [p_x \quad p_y \quad p_z]^T$ 为虚拟声源坐标P( $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$ )向量表达;

设虚拟声源距原点距离为 $d_0$ ,三个选定扬声器 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 距原点距离为 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ ,增益因子 $g_2$ 计算公式如下,

$$\mathbf{g}_2 = \frac{1}{\sqrt{d_0}} [\sqrt{d_1} \quad \sqrt{d_2} \quad \sqrt{d_3}]$$

对于选定两个扬声器的情况,以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面,将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器,令选定两个扬声器相对听音点的坐标为 $l_1$ 、 $l_2$ , $l_3 = [l_{31} \quad l_{32} \quad l_{33}] = [0 \quad 0 \quad 0]$ ,根据基于矢量的幅度平移公式计算虚拟扬声器的增益因子 $g_1$ ;选定两个扬声器距原点距离为 $d_1$ 、 $d_2$ ,距离 $d_3 = 0$ ,采用增益因子 $g_2$ 计算公式计算得到增益因子 $g_2$ ;

对于只选定一个扬声器的情况,增益因子 $g_1 = 1$ ,选定扬声器距原点距离为 $d_1$ ,距离 $d_2 = d_3 = 0$ ,采用增益因子 $g_2$ 计算公式计算得到增益因子 $g_2$ ;

步骤5,对输入的声源信号进行分析,并将输入的声源信号转换为系统可以使用的系统

声源信号；

步骤6,将系统声源信号和选定扬声器的增益因子 $g_2$ 做运算后分配至所选择的扬声器上,所选择的扬声器发声对虚拟声源进行模拟。

2.根据权利要求1所述用于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成方法,其特征在于:步骤3进行分析选取的实现方式如下,

设虚拟声源P坐标为 $(p_x, p_y, p_z)$ ,

首先计算虚拟声源是否在某个扬声器与原点的连线上,若对于虚拟声源P $(p_x, p_y, p_z)$ 和某扬声器L $(l_x, l_y, l_z)$ ,有

$$\frac{p_x}{l_x} = \frac{p_y}{l_y} = \frac{p_z}{l_z} = k,$$

其中,系数 $k \in \mathbb{R}$ 且 $k \neq 0$ ,

则选择该扬声器;

然后计算虚拟声源是否在某两个扬声器和原点所在的平面上,若对于虚拟声源P $(p_x, p_y, p_z)$ 和扬声器L<sub>1</sub> $(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ 、扬声器L<sub>2</sub> $(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ ,有 $(l_{y2} \times l_{z1} - l_{y1} \times l_{z2}) p_x + (l_{z2} \times l_{x1} - l_{z1} \times l_{x2}) p_y + (l_{x2} \times l_{y1} - l_{x1} \times l_{y2}) p_z = 0$ ,

则选择这两个扬声器,即扬声器L<sub>1</sub>和L<sub>2</sub>;

若

不符合上述情况,那么若对于虚拟声源P $(p_x, p_y, p_z)$ ,扬声器L<sub>1</sub> $(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ ,L<sub>2</sub> $(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ ,L<sub>3</sub> $(l_{x3}, l_{y3}, l_{z3})$ ,计算参数 $V_1, V_2, V_3$ 如下,

$$V_1 = (P - L_1) \times (L_2 - L_1),$$

$$V_2 = (P - L_2) \times (L_3 - L_2),$$

$$V_3 = (P - L_3) \times (L_1 - L_3),$$

如果满足

$$(V_1 \cdot V_2 > 0) \wedge (V_2 \cdot V_3 > 0) \wedge (V_3 \cdot V_1 > 0) \text{ 且 } (P \cdot L_1 > 0) \wedge (P \cdot L_2 > 0) \wedge (P \cdot L_3 > 0)$$

则选择这三个扬声器L<sub>1</sub>和L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub>。

3.一种用于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成系统,其特征在于,包括以下模块:

输入模块,用于输入现有环境布置的扬声器的位置信息,需要模拟的虚拟声源的位置信息和声源信号;

空间信息转换模块,用于根据输入的扬声器的位置信息和虚拟声源的位置信息,以听音点为原点建立三维坐标系,对于扬声器阵列,将各个扬声器的位置转换为相对于原点的坐标,对于需要模拟的虚拟声源,计算虚拟声源的方位,将设定的虚拟声源的位置转换为相对于原点的坐标;

扬声器选择模块,用于根据转换后的扬声器坐标和虚拟声源坐标进行分析选取,

如果虚拟声源P坐标在某一扬声器与坐标原点的连线上,则选择该扬声器,提取选择的扬声器坐标和虚拟声源坐标;

如果虚拟声源P坐标在某两个扬声器坐标的连线与原点形成的平面上,则选择这两个扬声器,提取选择的扬声器坐标和虚拟声源坐标;

如果声源坐标不符合上述情况,计算扬声器与虚拟声源的方向关系,选择与虚拟声源同方向的三个扬声器;

增益计算模块,用于计算各扬声器的增益因子,

对于选定三个扬声器的情况,以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面,将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器,根据基于矢量的幅度平移公式计算虚拟扬声器的增益因子 $g_1$ ,然后基于声音传播的衰减规律,将虚拟扬声器的增益推导至原始实际的扬声器得到最终的增益因子 $g_2$ ,

所述基于矢量的幅度平移公式如下,

$$\mathbf{g}_1 = \mathbf{p}^T \mathbf{L}_{123}^{-1} = \begin{bmatrix} p_x & p_y & p_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_{x1} & l_{y1} & l_{z1} \\ l_{x2} & l_{y2} & l_{z2} \\ l_{x3} & l_{y3} & l_{z3} \end{bmatrix}^{-1} = [\mathbf{g}_{11} \quad \mathbf{g}_{12} \quad \mathbf{g}_{13}]$$

其中, $g_{11}$ 、 $g_{12}$ 、 $g_{13}$ 分别为三个选定扬声器的增益, $g_1 = [g_{11} \quad g_{12} \quad g_{13}]$ ;记 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 为三个选定扬声器 $L_1(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ 、 $L_2(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ 、 $L_3(l_{x3}, l_{y3}, l_{z3})$ 相对听音点的坐标向量表达, $l_i = [l_{xi} \quad l_{yi} \quad l_{zi}]$ , $i = 1, 2, 3$ ;定义矩阵 $\mathbf{L}_{123} = [l_1, l_2, l_3]^T$ , $\mathbf{p} = [p_x \quad p_y \quad p_z]^T$ 为虚拟声源坐标 $P(p_x, p_y, p_z)$ 向量表达;

设虚拟声源距原点距离为 $d_0$ ,三个选定扬声器 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 距原点距离为 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ ,增益因子 $g_2$ 计算公式如下,

$$g_2 = \frac{1}{\sqrt{d_0}} [\sqrt{d_1} \quad \sqrt{d_2} \quad \sqrt{d_3}]$$

对于选定两个扬声器的情况,以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面,将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器,令选定的两个扬声器相对听音点的坐标为 $l_1, l_2, l_3 = [l_{31} \quad l_{32} \quad l_{33}] = [0 \quad 0 \quad 0]$ ,根据基于矢量的幅度平移公式计算虚拟扬声器的增益因子 $g_1$ ;设选定的两个扬声器距原点距离为 $d_1$ 、 $d_2$ ,距离 $d_3 = 0$ ,采用增益因子 $g_2$ 计算公式计算得到增益因子 $g_2$ ;

对于只选定一个扬声器的情况,增益因子 $g_1 = 1$ ,设选定的扬声器距原点距离为 $d_1$ ,距离 $d_2 = d_3 = 0$ ,采用增益因子 $g_2$ 计算公式计算得到增益因子 $g_2$ ;

信号分析模块,用于对输入的声源信号进行分析,并将输入的声源信号转换为系统声源信号;

信号分配模块,用于将系统声源信号和选定扬声器的增益因子 $g_2$ 做运算后分配至所选的扬声器上,所选的扬声器发声对虚拟声源进行模拟。

4. 根据权利要求3所述用于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成系统,其特征在于:扬声器选择模块进行分析选取的实现方式如下,

设虚拟声源 $P$ 坐标为 $(p_x, p_y, p_z)$ ,

首先计算虚拟声源是否在某个扬声器与原点的连线上,若对于虚拟声源 $P(p_x, p_y, p_z)$ 和某扬声器 $L(l_x, l_y, l_z)$ ,有

$$\frac{p_x}{l_x} = \frac{p_y}{l_y} = \frac{p_z}{l_z} = k,$$

其中,系数 $k \in \mathbb{R}$ 且 $k \neq 0$ ,

则选择该扬声器;

然后计算虚拟声源是否在某两个扬声器和原点所在的平面上,若对于虚拟声源 $P(p_x,$

$p_y, p_z$ ) 和扬声器  $L_1(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ 、扬声器  $L_2(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ , 有  $(l_{y2} \times l_{z1} - l_{y1} \times l_{z2}) p_x + (l_{z2} \times l_{x1} - l_{z1} \times l_{x2}) p_y + (l_{x2} \times l_{y1} - l_{x1} \times l_{y2}) p_z = 0$ ,

则选择这两个扬声器, 即扬声器  $L_1$  和  $L_2$ ;

若

不符合上述情况, 那么若对于虚拟声源  $P(p_x, p_y, p_z)$ , 扬声器  $L_1(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ ,  $L_2(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ ,  $L_3(l_{x3}, l_{y3}, l_{z3})$ , 计算参数  $V_1, V_2, V_3$  如下,

$$V_1 = (P - L_1) \times (L_2 - L_1),$$

$$V_2 = (P - L_2) \times (L_3 - L_2),$$

$$V_3 = (P - L_3) \times (L_1 - L_3),$$

如果满足

$$(V_1 \cdot V_2 > 0) \wedge (V_2 \cdot V_3 > 0) \wedge (V_3 \cdot V_1 > 0) \text{ 且 } (P \cdot L_1 > 0) \wedge (P \cdot L_2 > 0) \wedge (P \cdot L_3 > 0)$$

则选择这三个扬声器  $L_1$  和  $L_2, L_3$ 。

## 用于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及声学技术领域,尤其涉及一种用于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成方法及系统。

### 背景技术

[0002] 3D技术的发展深刻变革了人们的观影体验,现有的3D视频技术已能为观众提供较好的临场体验,市场上也出现了大量支持3D视觉效果的设备;然而,现有的3D的音频技术却相对滞后。

[0003] 3D音频,指的是能够在水平方向、垂直方向和距离这三个维度自由移动的由音频系统重建的虚拟声源。根据以上定义,当前市场上主流的立体声或环绕声技术大多属于2D音频,尽管这些技术通过对各种背景声音进行大量渲染,可以为用户带来一定程度上的音频环绕感,却并没有在音频重现上给用户带来明确的声像的方位信息,在声源移动时也没有让用户明确感知到声像的距离的变化,严重削弱了用户的3D感受。

[0004] 现有的3D音频生成技术主要有以下两种方法:

[0005] 使用正切法则或正弦法则得到两个扬声器的增益关系,进而根据该增益关系对经过分析后的声源信号进行分配,分别同时播放,以产生位置变化的声音效果。

[0006] 使用基于矢量的幅度平移技术(VBAP),将声音事件的单位方向矢量表示为距声源方向最近的三个扬声器的单位方向矢量的线性组合,计算扬声器的增益因子,做幅度平移,进而恢复声音事件的方向。

[0007] 然而,使用正弦法则和正切法则形成的声像方向只能在两个扬声器之间,且当扬声器所在平面与用户头部不在同一平面上时不适用;VBAP技术大多是基于球面扬声器阵列的3D音频生成技术,矢量的运算只能在一定范围内恢复声源的方向,并且对声像距离的恢复能力很弱。因为球面扬声器阵列在现实生活中难以实现,这种技术使得3D音频设备造价高昂,不利于市场化推广;当前的3D音频技术面临难以市场化的问题,制约了多媒体产业的发展。

### 发明内容

[0008] 本发明主要是解决现有技术所存在的技术问题,提供了一种不局限于球面扬声器阵列,适用于大部分家庭、影院等情况下的三维音频信号生成技术方案。

[0009] 本发明的技术方案提供一种用于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成方法,执行以下步骤:

[0010] 步骤1,输入现有环境布置的扬声器的位置信息,需要模拟的虚拟声源的位置信息和声源信号;

[0011] 步骤2,根据输入的扬声器的位置信息和虚拟声源的位置信息,以听音点为原点建立三维坐标系,对于扬声器阵列,将各个扬声器的位置转换为相对于原点的坐标,对于需要模拟的虚拟声源,计算虚拟声源的方位,将设定的虚拟声源的位置转换为相对于原点的坐

标;

[0012] 步骤3,根据转换后的扬声器坐标和虚拟声源坐标进行分析选取,

[0013] 如果虚拟声源P坐标在某一扬声器与坐标原点的连线上,则选择该扬声器,提取选择的扬声器坐标和虚拟声源坐标;

[0014] 如果虚拟声源P坐标在某两个扬声器坐标的连线与原点形成的平面上,则选择这两个扬声器,提取选择的扬声器坐标和虚拟声源坐标;

[0015] 如果声源坐标不符合上述情况,计算扬声器与虚拟声源的方向关系,选择与虚拟声源同方向的三个扬声器;

[0016] 步骤4,计算各扬声器的增益因子,

[0017] 对于选定三个扬声器的情况,以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面,将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器,根据基于矢量的幅度平移公式计算虚拟扬声器的增益因子 $g_1$ ,然后基于声音传播的衰减规律,将虚拟扬声器的增益推导至原始实际的扬声器得到最终的增益因子 $g_2$ ,

[0018] 所述基于矢量的幅度平移公式如下,

$$[0019] \quad \mathbf{g}_1 = \mathbf{p}^T \mathbf{L}_{123}^{-1} = [\mathbf{p}_1 \quad \mathbf{p}_2 \quad \mathbf{p}_3] \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \end{bmatrix}^{-1} = [g_{11} \quad g_{12} \quad g_{13}]$$

[0020] 其中, $g_{11}$ 、 $g_{12}$ 、 $g_{13}$ 分别为三个选定扬声器的增益, $g_1 = [g_{11}g_{12}g_{13}]$ ;记 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 为三个选定扬声器相对听音点的坐标, $l_i = [l_{i1}l_{i2}l_{i3}]$ , $i = 1, 2, 3$ ;定义矩阵 $\mathbf{L}_{123} = [l_1, l_2, l_3]^T$ , $\mathbf{p} = [p_1, p_2, p_3]^T$ 为虚拟声源坐标;

[0021] 设虚拟声源距原点距离为 $d_0$ ,三个选定扬声器 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 距原点距离为 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ ,增益因子 $g_2$ 计算公式如下,

$$[0022] \quad g_2 = \frac{1}{\sqrt{d_0}} [\sqrt{d_1} \quad \sqrt{d_2} \quad \sqrt{d_3}]$$

[0023] 对于选定两个扬声器的情况,以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面,将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器,令设选定的两个扬声器相对听音点的坐标为 $l_1$ 、 $l_2$ , $l_3 = [l_{31}l_{32}l_{33}] = [000]$ ,根据基于矢量的幅度平移公式计算虚拟扬声器的增益因子 $g_1$ ;设选定的两个扬声器距原点距离为 $d_1$ 、 $d_2$ ,距离 $d_3 = 0$ ,采用增益因子 $g_2$ 计算公式计算得到增益因子 $g_2$ ;

[0024] 对于只选定一个扬声器的情况,增益因子 $g_1 = 1$ ,设选定的扬声器距原点距离为 $d_1$ ,距离 $d_2 = d_3 = 0$ ,采用增益因子 $g_2$ 计算公式计算得到增益因子 $g_2$ ;

[0025] 步骤5,对输入的声源信号进行分析,并将输入的声源信号转换为系统可以使用的系统声源信号;

[0026] 步骤6,将系统声源信号和选定扬声器的增益因子 $g_2$ 做运算后分配至所选择的扬声器上,所选择的扬声器发声对虚拟声源进行模拟。

[0027] 而且,步骤3进行分析选取的实现方式如下,

[0028] 设虚拟声源P坐标为 $(p_x, p_y, p_z)$ ,

[0029] 首先计算虚拟声源是否在某个扬声器与原点的连线上,若对于虚拟声源P $(p_x, p_y,$

$p_z$ ) 和某扬声器  $L(l_x, l_y, l_z)$ , 有

$$[0030] \quad \frac{p_x}{l_x} = \frac{p_y}{l_y} = \frac{p_z}{l_z} = k,$$

[0031] 其中, 系数  $k \in \mathbb{R}$  且  $k \neq 0$ ,

[0032] 则选择该扬声器;

[0033] 然后计算虚拟声源是否在某两个扬声器和原点所在的平面上, 若对于虚拟声源

[0034]  $P(p_x, p_y, p_z)$  和扬声器  $L_1(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ 、扬声器  $L_2(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ , 有

$$[0035] \quad (l_{y2} \times l_{z1} - l_{y1} \times l_{z2})x + (l_{z2} \times l_{x1} - l_{z1} \times l_{x2})y + (l_{x2} \times l_{y1} - l_{x1} \times l_{y2})z = 0,$$

[0036] 其中, 系数  $x, y, z \in \mathbb{R}$  且  $x, y, z \neq 0$ ,

[0037] 则选择这两个扬声器, 即扬声器  $L_1$  和  $L_2$ ;

[0038] 若

[0039] 不符合上述情况, 那么若对于虚拟声源  $P(p_x, p_y, p_z)$ , 扬声器  $L_1(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ ,  $L_2(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ ,  $L_3(l_{x3}, l_{y3}, l_{z3})$ , 计算参数  $V_1, V_2, V_3$  如下,

$$[0040] \quad V_1 = (P - L_1) \times (L_2 - L_1),$$

$$[0041] \quad V_2 = (P - L_2) \times (L_3 - L_2),$$

$$[0042] \quad V_3 = (P - L_3) \times (L_1 - L_3),$$

[0043] 如果满足

$$[0044] \quad (V_1 \cdot V_2 > 0) \wedge (V_2 \cdot V_3 > 0) \wedge (V_3 \cdot V_1 > 0) \text{ 且 } (P \cdot L_1 > 0) \wedge (P \cdot L_2 > 0) \wedge (P \cdot L_3 > 0)$$

[0045] 则选择这三个扬声器  $L_1$  和  $L_2, L_3$ 。

[0046] 本发明提供一种用于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成系统, 包括以下模块:

[0047] 输入模块, 用于输入现有环境布置的扬声器的位置信息, 需要模拟的虚拟声源的位置信息和声源信号;

[0048] 空间信息转换模块, 用于根据输入的扬声器的位置信息和虚拟声源的位置信息, 以听音点为原点建立三维坐标系, 对于扬声器阵列, 将各个扬声器的位置转换为相对于原点的坐标, 对于需要模拟的虚拟声源, 计算虚拟声源的方位, 将设定的虚拟声源的位置转换为相对于原点的坐标;

[0049] 扬声器选择模块, 用于根据转换后的扬声器坐标和虚拟声源坐标进行分析选取,

[0050] 如果虚拟声源  $P$  坐标在某一扬声器与坐标原点的连线上, 则选择该扬声器, 提取选择的扬声器坐标和虚拟声源坐标;

[0051] 如果虚拟声源  $P$  坐标在某两个扬声器坐标的连线与原点形成的平面上, 则选择这两个扬声器, 提取选择的扬声器坐标和虚拟声源坐标;

[0052] 如果声源坐标不符合上述情况, 计算扬声器与虚拟声源的方向关系, 选择与虚拟声源同方向的三个扬声器;

[0053] 增益计算模块, 用于计算各扬声器的增益因子,

[0054] 对于选定三个扬声器的情况, 以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面, 将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器, 根据基于矢量的幅度平移公式计算虚拟扬声器的增益因子  $g_1$ , 然后基于声音传播的衰减规律, 将虚拟扬声器的增益推导至原始实际的扬声器得到最终的增益因子  $g_2$ ,



[0055] 所述基于矢量的幅度平移公式如下，

$$[0056] \quad \mathbf{g}_1 = \mathbf{P}^t \mathbf{L}_{123}^{-1} = [\mathbf{p}_1 \quad \mathbf{p}_2 \quad \mathbf{p}_3] \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \end{bmatrix}^{-1} \stackrel{4}{=} [\mathbf{g}_{11} \quad \mathbf{g}_{12} \quad \mathbf{g}_{13}]$$

[0057] 其中， $\mathbf{g}_{11}$ 、 $\mathbf{g}_{12}$ 、 $\mathbf{g}_{13}$ 分别为三个选定扬声器的增益， $\mathbf{g}_1 = [\mathbf{g}_{11} \mathbf{g}_{12} \mathbf{g}_{13}]$ ；记 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 为三个选定扬声器相对听音点的坐标， $l_i = [l_{i1} l_{i2} l_{i3}]$ ， $i = 1, 2, 3$ ；定义矩阵 $\mathbf{L}_{123} = [l_1, l_2, l_3]^T$ ， $\mathbf{p} = [\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3]^T$ 为虚拟声源坐标；

[0058] 设虚拟声源距原点距离为 $d_0$ ，三个选定扬声器 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 距原点距离为 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ ，增益因子 $\mathbf{g}_2$ 计算公式如下，

$$[0059] \quad \mathbf{g}_2 = \frac{1}{\sqrt{d_0}} \begin{bmatrix} \sqrt{d_1} & \sqrt{d_2} & \sqrt{d_3} \end{bmatrix}$$

[0060] 对于选定两个扬声器的情况，以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面，将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器，令设选定的两个扬声器相对听音点的坐标为 $l_1$ 、 $l_2$ ， $l_3 = [l_{31} l_{32} l_{33}] = [000]$ ，根据基于矢量的幅度平移公式计算虚拟扬声器的增益因子 $\mathbf{g}_1$ ；设选定的两个扬声器距原点距离为 $d_1$ 、 $d_2$ ，距离 $d_3 = 0$ ，采用增益因子 $\mathbf{g}_2$ 计算公式计算得到增益因子 $\mathbf{g}_2$ ；

[0061] 对于只选定一个扬声器的情况，增益因子 $\mathbf{g}_1 = 1$ ，设选定的扬声器距原点距离为 $d_1$ ，距离 $d_2 = d_3 = 0$ ，采用增益因子 $\mathbf{g}_2$ 计算公式计算得到增益因子 $\mathbf{g}_2$ ；

[0062] 信号分析模块，用于对输入的声源信号进行分析，并将输入的声源信号转换为系统声源信号；

[0063] 信号分配模块，用于将系统声源信号和选定扬声器的增益因子 $\mathbf{g}_2$ 做运算后分配至所选的扬声器上，所选的扬声器发声对虚拟声源进行模拟。

[0064] 而且，扬声器选择模块进行分析选取的实现方式如下，

[0065] 设虚拟声源P坐标为 $(p_x, p_y, p_z)$ ，

[0066] 首先计算虚拟声源是否在某个扬声器与原点的连线上，若对于虚拟声源P $(p_x, p_y, p_z)$ 和某扬声器L $(l_x, l_y, l_z)$ ，有

$$[0067] \quad \frac{p_x}{l_x} = \frac{p_y}{l_y} = \frac{p_z}{l_z} = k,$$

[0068] 其中，系数 $k \in \mathbb{R}$ 且 $k \neq 0$ ，

[0069] 则选择该扬声器；

[0070] 然后计算虚拟声源是否在某两个扬声器和原点所在的平面上，若对于虚拟声源

[0071] P $(p_x, p_y, p_z)$ 和扬声器 $L_1(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ 、扬声器 $L_2(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ ，有

$$[0072] \quad (l_{y2} \times l_{z1} - l_{y1} \times l_{z2})x + (l_{z2} \times l_{x1} - l_{z1} \times l_{x2})y + (l_{x2} \times l_{y1} - l_{x1} \times l_{y2})z = 0,$$

[0073] 其中，系数 $x, y, z \in \mathbb{R}$ 且 $x, y, z \neq 0$ ，

[0074] 则选择这两个扬声器，即扬声器 $L_1$ 和 $L_2$ ；

[0075] 若

[0076] 不符合上述情况，那么若对于虚拟声源P $(p_x, p_y, p_z)$ ，扬声器 $L_1(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ ， $L_2(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ ， $L_3(l_{x3}, l_{y3}, l_{z3})$ ，计算参数 $V_1, V_2, V_3$ 如下，

[0077]  $V_1 = (P-L_1) \times (L_2-L_1)$ ,

[0078]  $V_2 = (P-L_2) \times (L_3-L_2)$ ,

[0079]  $V_3 = (P-L_3) \times (L_1-L_3)$ ,

[0080] 如果满足

[0081]  $(V_1 \cdot V_2 > 0) \wedge (V_2 \cdot V_3 > 0) \wedge (V_3 \cdot V_1 > 0)$  且  $(P \cdot L_1 > 0) \wedge (P \cdot L_2 > 0) \wedge (P \cdot L_3 > 0)$

[0082] 则选择这三个扬声器 $L_1$ 和 $L_2$ 、 $L_3$ 。

[0083] 本发明提供了使用坐标表明扬声器所在位置及声源所在位置和移动方位;使用三维空间坐标关系选择部分扬声器发声对目标声像进行模拟,采用数学化定量的方式,既保证了合成声像的真实性,又使得该类声像信号生成可以通过既定程序自动完成,使得三维音频信号的生成简单方便的一种基于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成方案。因此,本发明具有如下优点:设计不规则扬声器阵列下的3D音频信号生成软件与系统,该系统可以在不规则扬声器排列下进行3D音频信号的自动生成与分配,打破了现有生成方法使用环境的限制,更易推广到影院、家庭等多种娱乐环境下使用。

## 附图说明

[0084] 图1为本发明实施例扬声器阵列的排布图。

[0085] 图2为本发明实施例的系统模块间详细关系示意图。

[0086] 图3为本发明实施例的系统工作流程图。

[0087] 图4为本发明实施例的VBAP算法示意图。

[0088] 图5为本发明实施例基于距离的幅度平移算法示意图。

## 具体实施方式

[0089] 以下结合附图和实施例对本发明技术方案作进一步具体的说明。

[0090] 本发明创造性的针对大多数家庭或影院等所处环境,即非球面环境布置扬声器阵列,提出一种基于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成方法,针对大多数家庭或影院等所处的非球面环境布置的非球面扬声器阵列,使用坐标表示扬声器所在位置及声源所在位置和移动方位,并根据扬声器和声源坐标间的关系,选定合适的扬声器,以最短距离为半径形成球面,将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器,计算虚拟扬声器的增益,再基于声音传播的衰减规律,将虚拟扬声器的增益推导至原始的实际的扬声器,综合得到各扬声器的增益因子,使用增益后的声音信号重建虚拟声源。

[0091] 实施例所提供方法包括以下步骤:

[0092] 步骤1,输入现有环境布置的扬声器的位置信息,需要模拟的虚拟声源的位置信息和声源信号,继续执行步骤2。

[0093] 步骤2,根据输入的扬声器的位置信息和虚拟声源的位置信息,以听音点为原点建立三维坐标系,对于扬声器阵列,将各个扬声器的位置转换为相对于原点的坐标,对于需要模拟的虚拟声源,计算虚拟声源的方位,将设定的虚拟声源的位置转换为相对于原点的坐标,继续执行步骤3。

[0094] 具体实施时,当输入现有环境布置的扬声器的位置和需要模拟的虚拟声源的位置时,以给定的听音点为原点建立三维坐标系,将扬声器位置和虚拟声源位置转换为相对原

点的坐标。可以以听音点为原点,以听音者的正左方为x轴、听音者的正前方为y轴、听音者的正上方为z轴建立三维坐标系。

[0095] 步骤3,根据转换后的扬声器坐标和虚拟声源的坐标,进行分析计算,

[0096] 如果虚拟声源P坐标在某一扬声器与坐标原点的连线上,则选择该扬声器,提取选择的扬声器的坐标和虚拟声源坐标,进入步骤4;

[0097] 如果虚拟声源P坐标在某两个扬声器坐标的连线与原点形成的平面上,则选择这两个扬声器,提取选择的扬声器的信息和虚拟声源坐标,进入步骤4;

[0098] 如果声源坐标不符合上述情况,计算扬声器与虚拟声源的方向关系,选择与虚拟声源同方向的三个扬声器,进入步骤4。

[0099] 具体实施时,对于虚拟声源坐标和扬声器坐标进行计算,设虚拟声源P坐标为  $(p_x, p_y, p_z)$ ,

[0100] 首先计算虚拟声源是否在某个扬声器与原点的连线上,即对于虚拟声源P  $(p_x, p_y, p_z)$  和某扬声器L  $(l_x, l_y, l_z)$ , 有  $\frac{p_x}{l_x} = \frac{p_y}{l_y} = \frac{p_z}{l_z} = k$ ,

[0101] 系数  $k \in \mathbb{R}$  且  $k \neq 0$ ,

[0102] 则选择该扬声器,即扬声器L;

[0103] 如果虚拟声源在某两个扬声器和原点所在的平面上,即对于虚拟声源P  $(p_x, p_y, p_z)$  和扬声器L<sub>1</sub>  $(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$  和扬声器L<sub>2</sub>  $(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ , 有

$$[0104] \quad (l_{y2} \times l_{z1} - l_{y1} \times l_{z2})x + (l_{z2} \times l_{x1} - l_{z1} \times l_{x2})y + (l_{x2} \times l_{y1} - l_{x1} \times l_{y2})z = 0$$

[0105] 其中,系数  $x, y, z \in \mathbb{R}$  且  $x, y, z \neq 0$ ,

[0106] 则选择这两个扬声器,即扬声器L<sub>1</sub>和L<sub>2</sub>;

[0107] 若声源坐标不符合上述情况,那么对于声源P  $(p_x, p_y, p_z)$ , 扬声器L<sub>1</sub>  $(l_{x1}, l_{y1}, l_{z1})$ , L<sub>2</sub>  $(l_{x2}, l_{y2}, l_{z2})$ , L<sub>3</sub>  $(l_{x3}, l_{y3}, l_{z3})$ , 计算参数V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>、V<sub>3</sub>如下:

$$[0108] \quad V_1 = (P - L_1) \times (L_2 - L_1),$$

$$[0109] \quad V_2 = (P - L_2) \times (L_3 - L_2),$$

$$[0110] \quad V_3 = (P - L_3) \times (L_1 - L_3),$$

[0111] 如果满足

$$[0112] \quad (V_1 \cdot V_2 > 0) \wedge (V_2 \cdot V_3 > 0) \wedge (V_3 \cdot V_1 > 0) \text{ 且 } (P \cdot L_1 > 0) \wedge (P \cdot L_2 > 0) \wedge (P \cdot L_3 > 0)$$

[0113] 则选择这三个扬声器L<sub>1</sub>和L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub>。

[0114] 步骤4,计算各扬声器的增益因子:

[0115] 对于选定两个或三个扬声器的情况,以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面,将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器,根据基于矢量的幅度平移技术计算虚拟扬声器的增益g<sub>1</sub>,然后基于声音传播的衰减规律,将虚拟扬声器的增益推导至原始的实际的扬声器得到最终的增益因子g<sub>2</sub>。

[0116] 具体实施时,根据步骤3得到的选定扬声器的坐标和声源坐标,以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面,将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器(见附图4,三个选定扬声器为channel1、channel2、channel3,坐标分别为l<sub>1</sub>、l<sub>2</sub>、l<sub>3</sub>,构成有效三角形active triangle,形成虚拟扬声器virtual source,坐标为p)。根据基于矢量的幅度平移公式:

$$[0117] \quad \mathbf{g}_1 = \mathbf{p}^t \mathbf{L}_{123}^{-1} = [\mathbf{p}_1 \quad \mathbf{p}_2 \quad \mathbf{p}_3] \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \end{bmatrix}^{-1} = [\mathbf{g}_{11} \quad \mathbf{g}_{12} \quad \mathbf{g}_{13}] \quad (1)$$

[0118] 计算虚拟扬声器的增益 $g_1$ 。其中, $g_{11}$ 、 $g_{12}$ 、 $g_{13}$ 分别为三个选定扬声器的增益, $g_1 = [g_{11} g_{12} g_{13}]$ ;记 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 为三个选定扬声器相对听音点的坐标, $l_i = [l_{i1} l_{i2} l_{i3}]$  ( $i=1,2,3$ );定义矩阵 $L_{123} = [l_1, l_2, l_3]^T$ ;  $\mathbf{p} = [p_1, p_2, p_3]^T$ 为虚拟声源坐标, $\mathbf{p} = g_1 L_{123}$ ,故有 $g_1 = \mathbf{p} L_{123}^{-1}$ 。

[0119] 当选定扬声器不足三个,只有两个时,即可视为 $L_3$ 不存在时,可令对应的 $l_3 = [l_{31} l_{32} l_{33}] = [0 \ 0 \ 0]$ ,只取需要的数值即可。

[0120] 随后,基于声音传播的衰减规律,计算将虚拟扬声器的增益推导至原始的实际的扬声器得到的增益因子 $g_2$ 。参见图5, $g_2$ 的计算过程为,考虑声源P(Sound source,在本发明中即为虚拟声源)距原点距离 $d_0$ 和扬声器 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 距原点距离 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 则有:

$$[0121] \quad g_2 = \frac{1}{\sqrt{d_0}} \begin{bmatrix} \sqrt{d_1} & \sqrt{d_2} & \sqrt{d_3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0122] 当选定扬声器不足三个,只有两个时,即可视为 $L_3$ 不存在时,可令对应的 $d_3$ 为0,只取需要的数值即可。

[0123] 对于只选定一个扬声器的情况,基于声音传播的衰减规律以及扬声器和声源距听音点的距离关系,可知增益因子 $g_1=1$ , $g_2$ 由下面的公式(2)得到。其中,由于只选定了—个扬声器,故令距离 $d_2=d_3=0$ ,只取距离 $d_1$ 的计算数值。

[0124] 步骤5,对输入的声源信号进行分析,并将输入的声源信号转换为系统可以使用的系统声源信号。具体实施时,此步骤可根据系统需要和具体情况进行。当用户选择的声源信号为系统自带的声源信号时,可以省略不需要进行处理,当用户选择自己的声源信号作为输入的声源信号时,进行转换,例如,输入的声源信号为模拟信号,可以转换为数字信号作为系统声源信号。

[0125] 步骤6,将系统声源信号和选定扬声器的增益因子 $g_2$ 做乘积运算后分配至所选择的扬声器上,所选择的扬声器发声对虚拟声源进行模拟。

[0126] 具体实施时,以上流程可采用计算机软件技术实现自动运行,也可以采用模块化方式提供相应系统、:

[0127] 如图1所示,本发明在3D音频实验室开展实施,实验室规模为6.6米×6米×3米,放置3D显示器和计算机各一台,分三层配置22个扬声器的多声道系统,其中顶层含9个扬声器,中间层包含10个,下层包含3个。

[0128] 如图2所示,本发明实施例提供的基于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成系统,具体包括:

[0129] 输入模块200,用于输入现有环境布置的扬声器的位置信息,需要模拟的虚拟声源的位置信息和移动方位,以及声源信号;其中,输入模块200将虚拟声源和扬声器的坐标传给转换模块201,将声源信号数据传入信号分析模块204。

[0130] 空间信息转换模块201,用于将空间信息转换为坐标。

[0131] 扬声器选择模块202,用于选择重建虚拟声源所需的扬声器,选择完成后,将选择的扬声器的信息和虚拟声源坐标发送给增益计算模块。

[0132] 增益计算模块203,计算每个扬声器中的信号幅度平移的增益因子,将计算所得的增益因子和所选定的扬声器发送至信号分配模块。

[0133] 信号分析模块204,用于声源信号的转换,并将转换后的系统声源信号发送给信号分配模块;

[0134] 信号分配模块205,用于将增益后的信号分配给扬声器,包括将信号分析模块发送的系统声源信号和增益计算模块发送的选定扬声器的增益因子做增益运算后分配至所选择的扬声器上。

[0135] 结合图3,下面给出使用该生成系统进行非球面扬声器阵列的三维音频信号生成的详细过程:

[0136] 1) 首先用户启动本发明设计的基于非球面扬声器阵列的三维音频信号生成系统(S301),输入现有环境布置的扬声器的位置信息,需要模拟的虚拟声源的位置信息和移动方位,以及声源信号(S302);

[0137] 实施例在具有奔腾2.8GHz CPU和4GB内存的电脑上安装该三维音频信号生成系统,具体实施时,可以预先输入位置信息,也可由用户打开该系统,在界面上找到输入扬声器位置选项进行对现有环境布置情况下的扬声器位置信息的录入,然后找到输入虚拟声源位置选项进行对虚拟声源的位置信息和移动方位的录入,最后进行声源信号的录入,用户可以选择系统内置的几种声源信号的一种或者选择自己的声源信号作为输入的声源信号;后续模块根据输入的数据类型(声源信号或位置信息)分别处理;

[0138] 2) 对于用户输入的现有环境布置的扬声器的位置信息以及需要模拟的虚拟声源的位置信息和移动方位,空间信息转换模块将之转换为相对应的坐标(S303);

[0139] 为了方便分析计算虚拟声源与扬声器的空间关系,系统首先将输入的扬声器位置和虚拟声源位置转换为坐标,以听音点为原点,以听音者的正左方为x轴、听音者的正前方为y轴、听音者的正上方为z轴建立三维坐标系,对于扬声器阵列,将各个扬声器的位置转换为相对于原点的坐标,对于需要模拟的虚拟声源,计算虚拟声源的方位,将设定的虚拟声源的位置转换为相对于原点的坐标,将转换后的扬声器坐标和虚拟声源的坐标发送给扬声器选择模块;

[0140] 3) 扬声器选择模块在接收到空间信息转换模块发送来的信息后,依据坐标分析计算虚拟声源与扬声器间的关系,如果虚拟声源是在某个扬声器与原点的连线上,则选择该扬声器,即扬声器(S304);否则,计算虚拟声源是否在某两个扬声器和原点所在的平面上,是则选择这两个扬声器(S305);若声源坐标不符合上述情况,那么选择与声源同方向的三个扬声器(S306);选择完成后,将选定的扬声器坐标和声源坐标发送给增益计算模块;

[0141] 4) 增益计算模块根据接收的选择的扬声器的信息和虚拟声源坐标计算各扬声器的增益因子(S307);

[0142] 具体实施时,对于只选定一个扬声器的情况,基于声音传播的衰减规律以及扬声器和声源距听音点的距离进行计算,得到增益因子 $g_2$ ,并将增益因子 $g_2$ 和选定的扬声器发送给信号分配模块;

[0143] 对于选定了两个或者三个扬声器的情况,以选定的扬声器与原点距离中的最短距离为半径形成球面,将不在此球面上的扬声器映射到该球面上形成虚拟扬声器,根据基于矢量的幅度平移技术计算虚拟扬声器的增益 $g_1$ ,然后基于声音传播的衰减规律,将虚拟扬

声器的增益推导至原始的实际的扬声器得到最终的增益因子 $g_2$ ,并将增益因子 $g_2$ 和选定的扬声器发送给信号分配模块;

[0144] 5) 信号分析模块接收用户输入的声源信号进行分析,并将用户输入的声源信号转换为系统可以使用的系统声源信号(S308);

[0145] 具体实施时,当用户选择的声源信号为系统自带的声源信号时,可以省略不需要进行处理,当用户选择自己的声源信号作为输入的声源信号时,进行转换;

[0146] 6) 信号分配模块将信号分析模块发送的系统声源信号和增益计算模块发送的选定扬声器的增益因子做运算后分配至所选择的扬声器上(S309),所选择的扬声器发声对虚拟声源进行模拟(S310)。

[0147] 各模块具体实现可参见相应步骤,本发明不予赘述。

[0148] 本文中所描述的具体实例仅仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

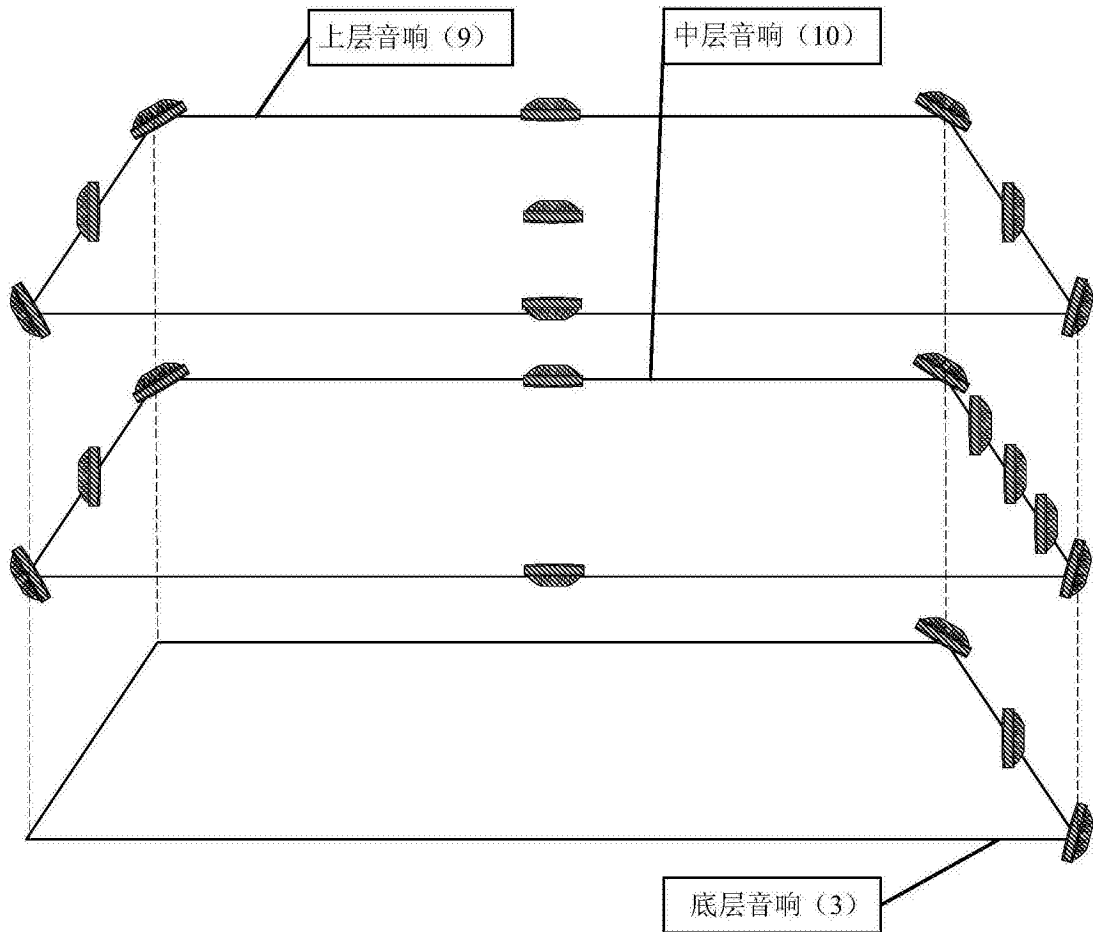


图1

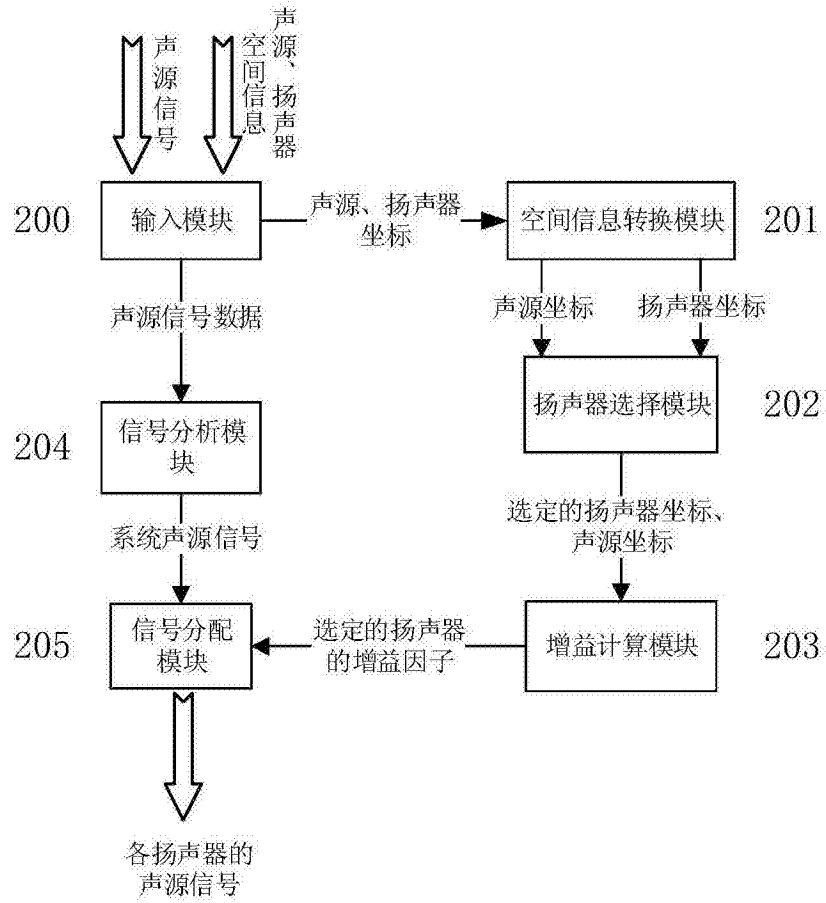


图2



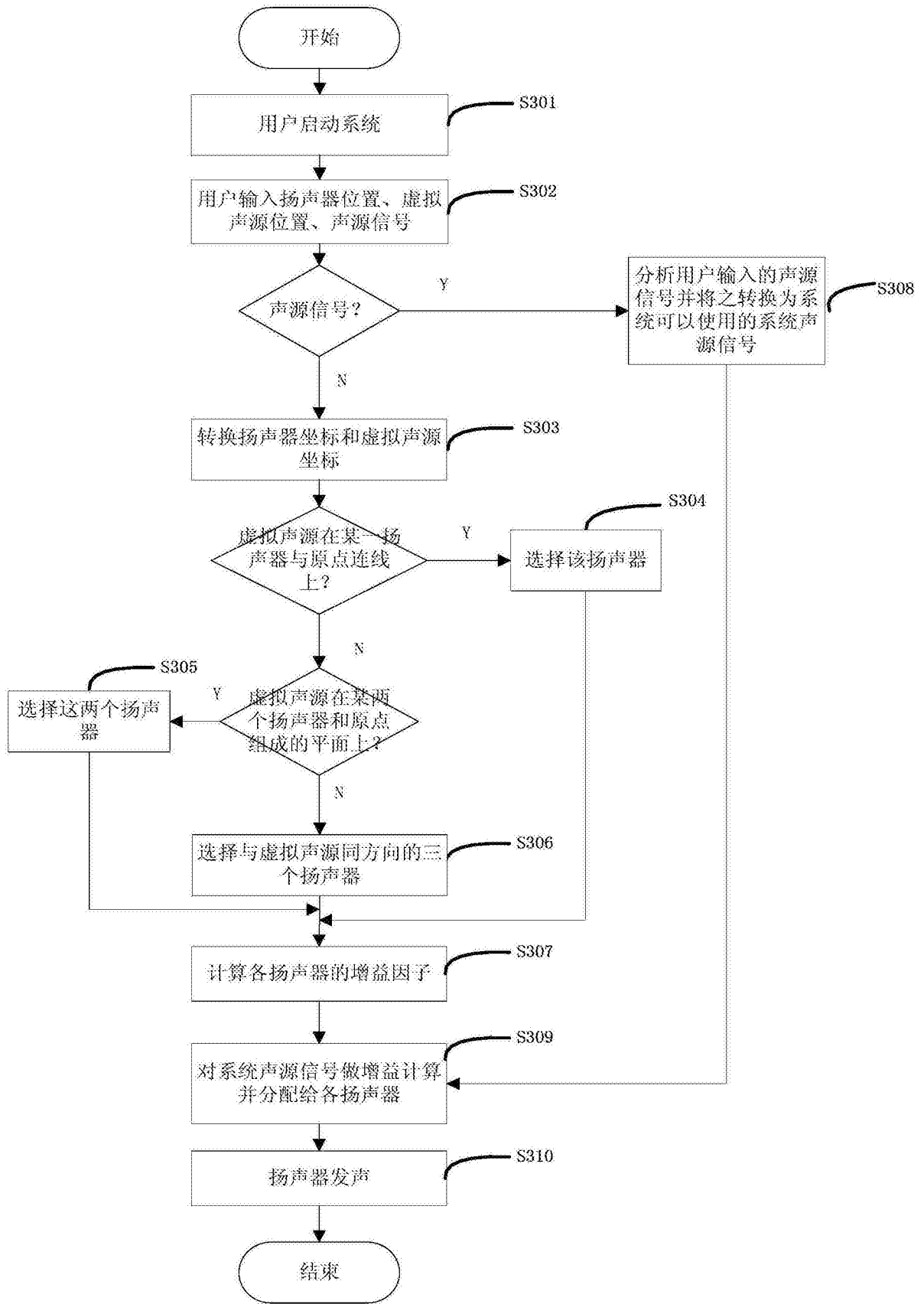


图3

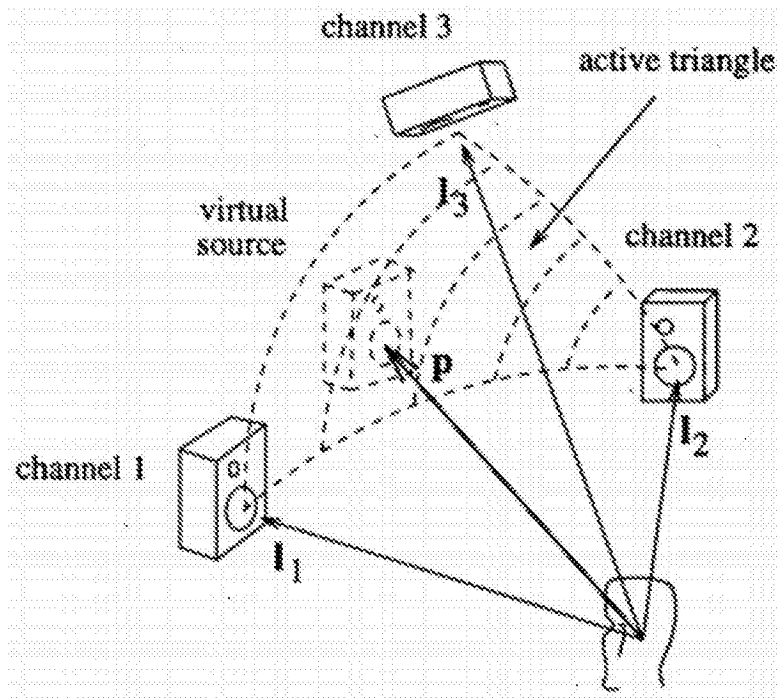


图4

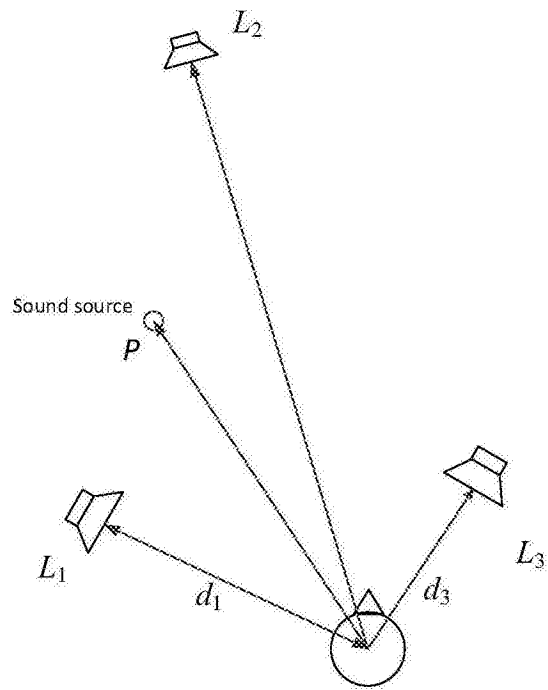


图5