[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
*G10K 15/02* (2006.01)
*G06F 17/50* (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710003154.6

[43] 公开日 2007 年 8 月 15 日

[11] 公开号 CN 101017664A

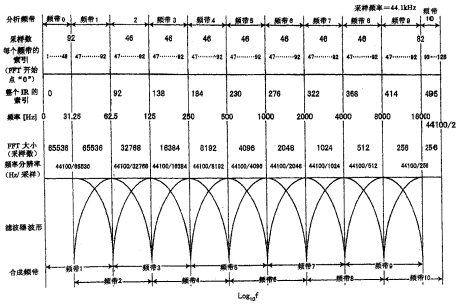
[22] 申请日 2007.2.7
[21] 申请号 200710003154.6
[30] 优先权
[32] 2006. 2. 7 [33] JP [31] 2006 - 030096
[71] 申请人 雅马哈株式会社
地址 日本静冈县
[72] 发明人 宫崎秀生
[74] 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司
代理人 陈 源 张天舒
权利要求书 5 页 说明书 30 页 附图 14 页

[54] 发明名称

# 响应波形合成方法和设备

[57] 摘要

本发明提供了一种响应波形合成方法和设备，使用针对具有按照分析频带频率降低的次序而变得更精细的频率分辨率的预定音频范围内的多个分析频带中单独之一而确定的频率特性，来针对每一个或每若干个分析频带设置合成频带，随后确定针对每个合成频带的时轴响应波形。 随后将合成频带的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。



1. 一种响应波形合成方法，包括步骤：

FFT 逆变换步骤，该步骤使用针对从预定音频范围内划分的多个分析频带中的单独一个而确定的频率特性来针对每一个或每若干个分析频带设置合成频带，随后确定针对每个合成频带的时轴响应波形，所述频率特性针对单个分析频带被确定为具有按照分析频带频率降低的次序而变得更精细的频率分辨率；以及

相加合成步骤，该步骤把合成频带的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。

2. 根据权利要求 1 所述的响应波形合成方法，其中所述 FFT 逆变换步骤使用针对从音频范围内划分的单个分析频带（0-n）而确定的频率特性，针对具有作为第（i-1）分析频带的频带和作为第 i 分析频带的频带的每个合成频带 i（i=1,2,…n）来确定时轴响应波形，并且

所述相加合成步骤把由所述 FFT 逆变换步骤所确定的合成频带 i（i=1,2,…,n）的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。

3. 根据权利要求 2 所述的响应波形合成方法，其中通过使用将对应于第（i-1）分析频带的合成频带的一部分乘以作为波形上升部分的正弦平方函数（$\sin^2\theta$）而得到的频率特性值、和将对应于第 i 分析频带的合成频带的一部分乘以作为波形下降部分的余弦平方函数（$\cos^2\theta$）而得到的频率特性值，所述 FFT 逆变换步骤确定了针对每个合成频带 i（i=1,2,3，…,n）的响应波形。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的响应波形合成方法，其中基于逐个倍频程从音频范围划分第 1 到第（n-1）个所述分析频带，并且通过 FFT 分析确定每个分析频带的频率特性，并且

其中，将要在第 k 个所述分析频带（k=1,2,…,n-2）的 FFT 分析中使用的 FFT 采样数据量是将要在第(k+1)个所述分析频带的 FFT 分析中使用的 FFT 采样数据量的两倍。

5. 根据权利要求 4 所述的响应波形合成方法，其中，在所述 FFT 逆变换步骤中，对应于所述第（i-1）分析频带的合成频带 i（i=1,2,3,…,n-1)的部分以减小的方式来使用频率轴上离散地呈现的频率特性值，从而在对应于所述第 i 合成频带的部分上，该频率特性值在数量上等于频率轴上离散地呈现的频率特性值。

6. 一种响应波形合成设备，包括：

频率特性存储部分，其存储了针对从预定音频范围内划分的多个分析频带中单独一个而确定的频率特性，所述频率特性被确定为具有按照分析频带频率降低的次序而变得更精细的频率分辨率；

FFT 逆变换操作部分，其针对每一个或每若干个分析频带设置合成频带，并且随后确定针对每个合成频带的时轴响应波形；以及

相加合成部分，其把合成频带的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。

7. 根据权利要求 6 所述的响应波形合成设备，其中所述 FFT 逆变换操作部分使用针对从音频范围内划分的单个分析频带（0-n）而确定的频率特性，针对具有作为第（i-1）分析频带的频带和作为第 i 分析频带的频带的每个合成频带 i（i=1,2,…n）来确定时轴响应波形，并且

所述相加合成部分把由所述 FFT 逆变换操作部分确定的合成频带 i（i=1,2,…,n）的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。

8. 根据权利要求 6 所述的响应波形合成设备，其还包括：

特性存储部分，其存储多种类型扬声器的各个特性；

扬声器选择辅助部分，其根据将要安置扬声器的空间的形状信息来选择可选的扬声器候选；

扬声器选择部分，其对用于从可选择的扬声器候选中选择一个扬声器的选择操作进行接收；

扬声器安装角度最佳化部分，其根据经由所述扬声器选择部分选择的扬声器的特性来确定扬声器的安装方位，从而使得在所述空间的声音接收表面的单个位置上的声音水平变化最小；以及

频率特性计算部分，其根据所述空间的形状信息和由所述扬声器安装角度最佳化部分确定的扬声器的安装方位，针对从音频范围划分的多个分析频带中的每一个来计算所述空间的预定位置上的频率特性，

其中，所述频率特性存储部分针对每个分析频带存储了所述频率特性计算部分所计算的频率特性。

9. 根据权利要求 8 所述的响应波形合成设备，其还包括声音信号处理部分，该声音信号处理部分包括一个已经将针对由所述相加合成部分提供的整个音频范围的响应波形特性设置在其中的滤波器，并且其中将期望的声音信号输入到所述声音信号处理部分，从而由所述滤波器来处理输入的声音信号，随后从所述声音信号处理部分输出处理过的声音信号。

10. 根据权利要求 8 所述的响应波形合成设备，其中，所述 FFT 逆变换操作部分使用针对从音频范围内划分的多个分析频带（0-n）中单独之一而确定的频率特性，针对具有作为第（i-1）分析频带的频带和作为第 i 分析频带的频带的每个合成频带 i（i=1,2,…n）来确定时轴响应波形，并且

所述相加合成部分把由所述 FFT 逆变换操作部分确定的合成频带 i（i=1,2,…,n）的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。

11. 一种响应波形合成方法，包括步骤：

第一步骤，该步骤根据将要安置扬声器的空间的形状信息选择可选的扬声器候选；

第二步骤，该步骤对用于从可选扬声器候选中选择一个扬声器的选择操作进行接收；

第三步骤，该步骤根据经由所述第二步骤选择的扬声器的特性来选择扬声器的安装方位，从而使得在所述空间的声音接收表面的单个位置上的声音水平变化最小；

第四步骤，该步骤根据所述空间的形状信息和由所述第三步骤确定的扬声器的安装方位，针对从预定音频范围内划分的多个分析频带中的每一个来计算所述空间的预定位置上的频率特性；

FFT 逆变换步骤，该步骤针对每一个或每若干个分析频带设置合成频带，并且随后确定针对每个合成频带的时轴响应波形；以及

相加合成步骤，该步骤把合成频带的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。

12. 根据权利要求 11 所述的响应波形合成方法，还包括：

设置步骤，该步骤在滤波器中设置由所述所述相加合成步骤提供的针对整个音频范围的响应波形的特性；以及

输入步骤，该步骤输入期望的声音信号，通过所述滤波器来处理输入的声音信号，以及随后输出处理过的声音信号。

13. 根据权利要求 11 所述的响应波形合成方法，其中，所述第四步骤计算具有按照分析频带频率降低的次序而变得更精细的频率分辨率的单个分析频带的频率特性。

14. 根据权利要求 11 所述的响应波形合成方法，其中所述 FFT 逆变换步骤使用针对从音频范围内划分的多个分析频带（0-n）中单独之一而确定的频率特性，针对具有作为第（i-1）分析频带频带和作为第 i 分析频带的频带的每个合成频带 i（i=1,2,…n）来确定时

轴响应波形，并且

所述相加合成步骤把由所述 FFT 逆变换步骤确定的合成频带 i（i=1,2,…,n）的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。

# 响应波形合成方法和设备

## 技术领域

本发明总的来说涉及一种用于根据频域中的声学特性来合成时轴脉冲响应波形的响应波形合成方法和设备，一种使用该响应波形合成方法的声学设计辅助设备和方法，以及一种存储声学设计辅助程序的存储介质。

## 背景技术

为了将扬声器安装在大厅、事件现场或其他集会场所（或声学设施）中，到目前为止音频工程师或设计者通常根据集会场所（或声学设施）的形状、大小等来选择适合的扬声器系统，并随后设计要安装所选扬声器系统的位置和方向以及将要安装的扬声器系统的均衡器特性等。

因为设计工作需要熟练而且繁重的计算，迄今已提出各种声学设计辅助设备和程序，例如日本专利申请公开 2002-366162、2003-16138、HEI-09-149500 和 2005-49688（下文分别称为专利文献 1、2、3 和 4）。利用声学设计辅助设备和程序，所期望的是，根据所选扬声器系统的特性，将一表面（下文称为“扬声器声音接收表面”或“声音接收表面”）上的声学特性预先直观地显示在显示装置上，在该表面布置了座位等并且该表面从将要安装在声学大厅或其他集会场所（或声学设施）的扬声器中接收声音，从而能模拟所选扬声器系统的声学特性，以至于在将诸如扬声器系统之类的音频装备搬运到诸如声学大厅之类的集会场所（即，真实声学空间）之前有助于扬声器系统的选择。而且，所期望的是，即使在集会场所安装了所选的扬声器系统之后，仍使用这样的声学设计辅助设备和程序来模拟该系统的声学调整状态，从而该声学调整状态可反映在该系统的声学调整中。

前面提到的 2002-366162 公开（即，专利文献 1）披露了预先获得每个扬声器周围的各个位置上的脉冲响应的数据，并根据所获得的脉冲响应数据来自动计算声音接收表面的声像定位参数。根据该文献中所披露的内容，进行了 FFT（快速傅里叶变换）的脉冲响应预存储了脉冲响应的模型。上述专利文献 2 披露了一种利用 GUI（图形用户界面）来使得装备选择和设计工作自动化的声学系统设计辅助设备。上述专利文献 3 披露了一种自动计算所期望的声像定位参数的设备。另外，上述的专利文献 4 披露了一种声学调整设备，其利用真实现场或集会场所中从扬声器输出的声音信号和由麦克风获得的声音信号之间的差异的特性数据，来在短时间内自动调整声学频率特性。

而且，以下面方式布置的声学设计辅助程序被投入目前的实际应用中。即，尽管它们的应用限于平面或二维线性排列类型的扬声器系统，但是通过对其输入诸如音乐大厅等声学空间的剖面形状，这些声学设计辅助程序的每一程序针对声音接收表面的预定声音接收区域计算所需的扬声器数量和每个扬声器的方向、水平平衡、均衡器（EQ）参数、和延迟参数。

利用上面提到的传统公知的声学设计辅助设备，需要这样的功能，即，当在给定声音接收点（如，座位）接收到声音时模拟来自扬声器的声音的声学特性并允许所模拟的声音的测试收听，从而预先检查哪种声音可在声音接收点被听到。

在许多上面提到的传统公知的声学设计辅助设备中，通过将一可听声音的频率范围分为多个部分频带，并随后对在部分频带间采样点数互不相同的部分频带进行 FFT 分析来进行频率特性的分析，从而按照部分频带频率降低的次序使得频率分辨率变得更精细。然而，如果在相互独立地进行 FFT 逆变换后只是将从多个部分频带获得的频率特性加到一起，那么在频率特性中将出现不连续或离散点，这容易引起不必要的噪音和不自然声音。

## 发明内容

考虑到上述问题，本发明的目的是提供一种能根据从多个划分

的部分频带获得的频率特性来获得非不连续波形的改进的响应波形合成方法和设备。本发明的另一目的是提供一种存储介质，该存储介质保存了用来使得计算机执行响应波形合成方法的程序以及利用该方法的声学设计辅助技术。

为了实现上述目的，本发明提供一种改进的响应波形合成方法，包括步骤：FFT 逆变换步骤，该步骤使用针对从预定音频范围内划分的多个分析频带中的单独一个而确定的频率特性来针对每一个或每若干个分析频带设置合成频带，随后确定针对每个合成频带的时轴响应波形，所述频率特性针对单个分析频带被确定为具有按照分析频带频率降低的次序而变得更精细的频率分辨率；以及相加合成步骤，该步骤把合成频带的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。

根据本发明，为每一个或多个分析频带设置合成频带，所述分析频带不具有针对按原样直接使用的每个分析频带而确定的频率特性，并且针对每个合成频带确定时轴波形。因此，本发明能合成平滑的响应波形，从而根据通过把音频频带分成多个部分（分析）频带而得到的频率特性来确定非不连续波形。

优选地，FFT 逆变换步骤利用针对从音频范围划分的单个分析频带（0-n）而确定的频率特性，来针对频带为第（i-1）分析频带和第 i 分析频带的每个合成频带 i（i=1,2,…,n）来确定时轴响应波形，并且相加合成步骤把由 FFT 逆变换步骤所确定的合成频带 i（i=1,2,…,n）的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。因此，通过使用用于以重叠方式使第 i 和第（i+1）合成频带相接的相同分析的频带 i，即使在确定每个频带的响应波形时，本发明也能合成平滑的响应波形，而不在频带之间引起边界区中的离散特性。

优选地，通过使用将对应于第（i-1）分析频带的合成频带的一部分乘以作为波形上升部分的正弦平方函数（$\sin^2\theta$）而得到的频率特性值和将对应于第 i 分析频带的合成频带的一部分乘以作为波形下降部分的余弦平方函数（$\cos^2\theta$）而得到的频率特性值，FFT 逆变

换步骤确定了针对每个合成频带 i（i=1,2,3，…,n）的响应波形。因为 $\sin^2\theta+\cos^2\theta=1$，所以即使在以重叠方式来针对相邻的第 i 和第（i+1）合成频带使用相同分析频带时，本发明也能通过相加地合成单个合成频带的响应波形来准确地再现初始分析频带的频率特性。

根据本发明的另一方面，提供了一种改进的响应波形合成设备，包括：频率特性存储部分，其存储了针对从预定音频范围内划分的多个分析频带中单独一个而确定的频率特性，该频率特性被确定为具有按照分析频带频率降低的次序而变得更精细的频率分辨率；FFT 逆变换操作部分，其针对每一个或每若干个分析频带设置合成频带，并且随后确定针对每个合成频带的时轴响应波形；以及相加合成部分，其把合成频带的响应波形加到一起，从而提供针对整个音频范围的响应波形。

优选地，该响应波形合成设备还包括：特性存储部分，其存储多种类型扬声器的各个特性；扬声器选择辅助部分，其根据将要安置扬声器的空间的形状信息来选择可选的扬声器候选；扬声器选择部分，其对用于从可选扬声器候选中选择一个扬声器的选择操作进行接收；扬声器安装角度最佳化部分，其根据经由扬声器选择部分选择的扬声器的特性来确定扬声器的安装方位，从而使得在空间的声音接收表面的单个位置上的声音水平变化最小；以及频率特性计算部分，其根据空间的形状信息和由扬声器安装角度最佳化部分确定的扬声器的安装方位，来针对从音频范围划分的多个分析频带中的每一个计算空间的预定位置上的频率特性。这里，频率特性存储部分针对每个分析频带存储了频率特性计算部分所计算的频率特性。这种排列能模拟通过所设计的扬声器排列所产生的声音。因此，通过应用本发明的响应波形合成技术，可以实现改进的声学设计辅助设备或方法。

优选地，响应波形合成设备还包括声音信号处理部分，该声音信号处理部分包括一个已经将针对由相加合成部分提供的整个音频范围的响应波形特性设置在其中的滤波器。这里，将期望的声音信号输入到声音信号处理部分，从而由滤波器来处理输入的声音信号，随后从声音信号处理部分输出处理过的声音信号。在用所设计的扬声器

排列模拟声音时，这种排列允许声音的测试收听。

本发明不仅可以构造并实现为如上所述的方法发明而且还可以构造并实现为设备方法。同样，本发明可以布置并实现为用于由诸如计算机或 DSP 之类的处理器执行的软件程序，以及存储了这种软件程序的存储介质。另外，本发明使用的处理器包括将专用逻辑内嵌到硬件中的专用处理器，更不用说还包括能运行期望的软件程序的计算机或其他通用型处理器。

下面将描述本发明的实施例，但是应该理解的是，本发明并不限于所述实施例，而且在不脱离基本原理的情况下可以对本发明进行各种修改。因此本发明的范围由所附权利要求唯一确定。

## 附图说明

为更好地理解本发明的目的和其他特点，以下将参考附图更详细地描述优选实施例，其中：

图 1 是说明根据本发明一实施例的响应波形合成方法的示图，该示图特别画出了分析频带、合成频带和窗函数的轮廓；

图 2 是示出用于合成脉冲响应波形的示例操作顺序的流程图；

图 3A 是示出根据本发明一实施例的声学设计辅助设备的示例内部设置的框图；

图 3B 是示出集会场所（或声学设施）基本形状数据的数据结构的示图；

图 4 是示出声学设计辅助设备的一般工作情况的流程图；图 5 是示出用于设置将要安置扬声器的空间的一般形状的示例 GUI 的示图；

图 6 是示出用于输入形状参数来设置将要安置扬声器的空间的一般形状的示例 GUI 的示图；

图 7 是示出用于针对扬声器的选择和配置进行可视显示的示例 GUI 的示图；

图 8 是示出扬声器数据表的数据结构的示图；

图 9 是说明用于在扬声器阵列的扬声器单元之间自动计算安装

角度的设置的操作顺序的概念示图；

图 10A 是示出用于使单个扬声器的轴点处频率特性最佳化的处理的流程图；

图 10B 是示出用于频率特性最佳化的均衡器参数设置的示例的示图；

图 11 是示出由网格点划分的示例声音接收表面区域的示图；

图 12 是示出用于使扬声器角度最佳化的操作顺序的流程图；

图 13 是示出在显示图 5 和 6 的 GUI 屏幕时声学设计辅助设备的工作情况的流程图；以及

图 14 是示出在显示图 7 的扬声器选择屏幕时声学设计辅助设备的工作情况的流程图。

## 具体实施方式

首先，将描述根据本发明一实施例的响应波形合成方法。图 1 是说明响应波形合成方法的示图，该响应波形合成方法一般包括步骤：把预定音频范围（如 0Hz-22050Hz）分为多个部分频带（下文称为“分析频带”），随后根据针对每个分析频带确定的给定频率特性来合成整个音频范围内的时域脉冲响应波形。在图 1 示例中，假定所述的音频信号处理系统的采样频率为 44.1kHz，因而该音频范围的上限为 44.1kHz 采样频率的一半，即 22050Hz。因此，如果该音频信号处理系统的采样频率变化，则预定音频范围也变化。

在此情况下，以用作逐个倍频程划分的标准单位的 1000Hz 来将 0Hz-22050Hz 的音频范围分为基于逐个倍频程的九个分析频带，最低和最高分析频带（即，分析频带 0 和分析频带 10）每个都是小于倍频程的频带（下文将这种小于倍频程的频带称为“分频带”）。因此，严格说来，0Hz-22050Hz 的音频范围被分为从分析频带 0 到分析频带 10 的总共 11 个分析频带，如“表 1”所示。

[表 1]

| 频带名 | 低端频率 | 高端频率 | FFT 大小 | 频率分辨率 |
|---|---|---|---|---|

| AB(n) | FL(n)(Hz) | FH(n)(Hz) | FS(n)(点) | FA(n)(Hz/点) |
|---|---|---|---|---|
| 分析频带 0 | 0 | 31.25 | 65536 | 0.672912598 |
| 分析频带 1 | 31.25 | 62.5 | 65536 | 0.672912598 |
| 分析频带 2 | 62.5 | 125 | 32768 | 1.345825195 |
| 分析频带 3 | 125 | 250 | 16384 | 2.691650391 |
| 分析频带 4 | 250 | 500 | 8192 | 5.383300781 |
| 分析频带 5 | 500 | 1000 | 4096 | 10.76660156 |
| 分析频带 6 | 1000 | 2000 | 2048 | 21.53320313 |
| 分析频带 7 | 2000 | 4000 | 1024 | 43.06640625 |
| 分析频带 8 | 4000 | 8000 | 512 | 86.1328125 |
| 分析频带 9 | 8000 | 16000 | 256 | 172.265625 |
| 分析频带 10 | 16000 | 22050 | 256 | 172.265625 |

上述分析频带之间的边界频率为 31.25Hz、62.5Hz、125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz、8000Hz 和 16000Hz 的倍频程关系，“FFT 大小”按照分析频带频率降低的次序增加。这里，“FFT 大小”指的是 FFT 分析中所使用的时域采样数据的数量。

更具体地说，在图 1 的示例中，进行设置使得 FFT 大小随着频率减小 1 倍频程而加倍。如上表 1 所指，分析频带 9（8000-16000Hz）的 FFT 大小为 256 点采样，而分析频带 8（4000-8000Hz）的 FFT 大小为 512 点采样，即 256 点采样的 2 倍。之后，随着随后的分析频带在倍频程上顺序降低，FFT 大小顺序加倍为 1024 点采样、2048 点采样、4096 点采样、…。具有最低倍频程宽度的分析频带 1 的 FFT 大小为 65536 点采样。

据此布置，能以较细频率分辨率来分析较低频带的频率特性，然而能以与频率成比例的粗略度来分析较高频带的频率特性。

注意，分析频带 0（0Hz-31.25Hz）（即频率低于分析频带 1 的分频带）具有与分析频带 1 相同的 FFT 大小。同样地，分析频带 10（即频率高于分析频带 9 的分频带）具有与分析频带 9 相同的 FFT 大小。

现在，将参考图 1 和表 2 来说明用于根据从划分的分析频带获得的频率特性来合成脉冲响应波形的过程。多个分析频带的频率特性可以是那些根据任何上述现有技术预先得到的频率特性，根据这些频率特性，将执行根据本发明该实施例的脉冲波形合成，（即，针对从音频带的单个分析频带，以频率分辨率随分析频带的频率降低的次序而变的更高或更精细来确定频率特性）。例如，因为从专利文献 1（即日本专利申请 2002-366162）已知预存储经过 FFT 变换处理的脉冲响应作为模板的技术，所以针对根据本发明该实施例的脉冲波形合成，可以使用作为模板被预存储的多个分析频带的频率特性。或者，针对根据本实施例的脉冲波形合成，可以使用由用户自己适当产生的频率特性。

根据本实施例，通过结合上述 11 个分析频带的每两个相邻频带的频率特性来产生 10 个合成频带的频率特性，并且随后对每个合成频带的频率特性进行 FFT 逆变换，从而来合成脉冲响应波形。每个合成频带与正好相邻的较高和较低合成频带重叠；通过对相邻的合成频带之一的频率特性的值乘以窗函数 $\sin^2\theta$，并对相邻合成频带的另一个的频率特性的值乘以窗函数 $\cos^2\theta$，从而将这些合成频带以匀滑转换方式相互连接（即匀滑转换连接）。因为 $\sin^2\theta+\cos^2\theta=1$，所以通过相加地合成时轴脉冲响应波形可以合成其中再现了初始频率特性的平滑脉冲响应波形，该时轴脉冲响应波形是通过对单个合成频带的频率特性进行 FFT 逆变换而计算出来。

[表 2]

| 频带号 | 低端<br>频率(Hz) | 高端<br>频率(Hz) | 采样<br>点数 | 低侧<br>频率(Hz) | 高侧<br>频率(Hz) |
|---|---|---|---|---|---|
| 合成频带 1 | 0 | 62.5 | 65536 | 平坦部分 | 下降部分 |
| | | | | 0-31.5 | 31.5-62.5 |
| 合成频带 2 | 31.25 | 125 | 32768 | 上升部分 | 下降部分 |
| | | | | 31.5-62.5 | 62.5-125 |
| 合成频带 3 | 62.5 | 250 | 16384 | 上升部分 | 下降部分 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 62.5-125 | 125-250 |
| 合成频带 4 | 125 | 500 | 8192 | 上升部分 | 下降部分 |
| | | | | 125-250 | 250-500 |
| 合成频带 5 | 250 | 1000 | 4096 | 上升部分 | 下降部分 |
| | | | | 250-500 | 500-1000 |
| 合成频带 6 | 500 | 2000 | 2048 | 上升部分 | 下降部分 |
| | | | | 500-1000 | 1000-2000 |
| 合成频带 7 | 1000 | 4000 | 1024 | 上升部分 | 下降部分 |
| | | | | 1000-2000 | 2000-4000 |
| 合成频带 8 | 2000 | 8000 | 512 | 上升部分 | 下降部分 |
| | | | | 2000-4000 | 4000-8000 |
| 合成频带 9 | 4000 | 16000 | 256 | 上升部分 | 下降部分 |
| | | | | 4000-8000 | 8000-16000 |
| 合成频带 10 | 8000 | 22050 | 256 | 上升部分 | 下降部分 |
| | | | | 8000-16000 | 16000-22050 |

单个合成频带具有如图 1 和表 2 所示的频带。合成频带 1 和合成频带 2 在 31.25Hz-62.5Hz 区域内彼此重叠。位于合成频带 1 后一半的“31.25Hz-62.5Hz”的重叠区域的频率特性的实部和虚部全都被乘以窗函数 $\cos^2\theta$，并且被给予下降部分的包络。另一方面，位于与合成频带 1 的后一半相对应的合成频率 2 的前一半的“31.25-62.5Hz”的重叠区域的频率特性的实部和虚部全都被乘以窗函数 $\sin^2\theta$，并且被给予上升部分的包络。合成频带 1 的“0Hz-31.25Hz”区域为平坦部分，利用 65536 个采样数据进行 FFT 变换的结果被直接用作平坦部分。

因为 FFT 逆变换包括对离散值的算术运算，所以利用随后的频率轴离散值采样数据在合成频带 1 和合成频带 2 中进行 FFT 逆变换。而且，因为在如图 1 所示的常用对数轴上分析频带和合成频带是以相等间隔设置的，所以也设置窗函数来在对数轴上分别提供正弦平方和余弦平方的波形。

[合成频带 1]

（1）平坦部分范围从 0Hz 到 31.25Hz，FFT 大小为 65536 点，分析频带 0 的采样号 j=1,2,…,45,46，而采样间隔约为 0.67Hz。如原样使用所述的采样数据的值。

（2）下降部分范围从 31.25Hz 到 62.5Hz，FFT 大小为 65536 点，分析频带 1 的采样号 j=47,48,…,91,92，而采样间隔约为 0.67Hz。

$$Real[j] = Real[j] * \cos^2(\theta)$$

$$Img[j] = Img[j] * \cos^2(\theta)$$

$$\theta = PAI/2 * [\{\log10(j * \Delta Freq[1]) - \log10(31.25)\}/\{\log10(62.5) - \log10(31.25)\}],$$

其中 PAI 是圆周率 $\pi$。

$$\Delta Freq[1] = 44100/65536$$

即，在合成频带 1 的前一半（即低侧频率带）中，通过以大约 0.67Hz 的间隔对范围从 0Hz 到 31.25Hz 的合成频带 0 的频率特性进行采样而获得 46 个采样数据，并且包络保持平坦。为方便起见，将 1,2,…,46 作为采样号 j 分配给如此获得的 46 个采样数据。在合成频带 1 的后一半(即高侧频率带)中,通过对范围从 31.25Hz 到 62.5Hz 的合成频带 1 的频率特性进行采样而获得 46 个采样数据，并且这些采样数据被给予下降部分的包络。为方便起见，将 47,48,…,92 作为采样号 j 分配给如此获得的后一半（即高侧频率带）的 46 个采样数据。合成频带 1 的后一半（即高侧频率带）是与接下来的合成频带 2 的前一半（低侧频率带）重叠的频率带。

[合成频带 2]

（1）上升部分范围从 31.25Hz 到 62.5Hz，FFT 大小为 65536 点，分析频带 1 的采样号 j=48,50,…,90,92(使用的是在合成频带 1 中所使用的 46 个采样数据的每隔一个的采样，从而这里总共使用 23 个采样数据，因此，采样间隔大约设为 1.34Hz)。

$$Real[j] = Real[j] * \sin^2(\theta)$$

$$Img[j] = Img[j] * \sin^2(\theta)$$

$$\theta = PAI/2 * [\{\log10(j * \Delta Freq[1]) - \log10(31.25)\}/\{\log10(62.5) - \log10(31.25)\}]$$

$\Delta Freq[1]=44100/65536$

（2）下降部分范围从 62.5Hz 到 125Hz，FFT 大小为 32768 点，分析频带 2 的采样号 j=47,48,…,91,92，而采样间隔约为 1.34Hz。

因为合成频带 2 的采样间隔（频率）是合成频带 1 的采样间隔的两倍，所以即使这里使用了与合成频带 1 使用的采样数据相同采样数据号的采样数据，通过 FFT 逆变换获得的波形也具有合成频带 1 双倍频率的频率。

$Real[j]=Real[j]*\cos^2(\theta)$

$Img[j]=Img[j]*\cos^2(\theta)$

$\theta=PAI/2*[\{\log10(j*\Delta Freq[2])-\log10(62.5)\}/\{\log10(125)-\log10(62.5)\}]$

$\Delta Freq[2]=44100/32768$

即，在合成频带 2 的前一半（即低侧频率带）中，通过以大约 1.34Hz 的间隔对范围从 31.25Hz 到 62.5Hz 的合成频带 1 的频率特性进行采样而获得 23 个采样数据，并且由此获得的采样数据被给予上升部分的包络。为方便起见，如果使用与合成频带 1 中使用的相同号码作为采样号 j，那么这些采样数据被分配为偶数采样号 48,50,…,90,92。在合成频带 2 的后一半（即高侧频率带）中，通过对范围从 62.5Hz 到 125Hz 的合成频带 2 的频率特性进行采样而获得 46 个采样数据，并且这些采样数据被给予下降部分的包络。而且，为方便起见，把 47,48,…,92 作为采样号 j 分配给如此获得的 46 个采样数据。合成频带 2 的后一半（即高侧频率带）是与接下来的合成频带 3 的前一半（低侧频率带）重叠的频率带。

按照与上述合成频带 2 相似的方式，通过从用作前一半（低侧频率带）的合成频带的频率特性中获得 23 个采样数据，并且从用作后一半（高侧频率带）的合成频带的频率特性中获得 46 个采样数据，来对合成频带 3-合成频带 9 中每一频带的前一半（低侧频率带）和后一半（高侧频率带）设置相同的采样间隔（频率）。随后，前一半（低侧频率带）的采样数据被给予上升部分的包络，而后一半（高侧频率带）的采样数据被给予下降部分的包络。然而，这些频带间的 FFT 大小、采样间隔（频率）、$\theta$计算结果等不相同。以下段落只讨

论这些频带间的不同之处。

[合成频带 3]

采样间隔为 2.69Hz。

（1）上升部分范围从 62.5Hz-125Hz。FFT 大小为 32768，而使用每隔一个的采样。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[2])-log10(62.5)}/{log10(125)-log10(62.5)}]

ΔFreq[2]=44100/32768

（2）下降部分范围从 125Hz-250Hz。FFT 大小为 16384。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[3])-log10(125)}/{log10(250)-log10(125)}]

ΔFreq[3]=44100/16384

[合成频带 4]

采样间隔为 5.38Hz。

（1）上升部分范围从 125Hz-250Hz。FFT 大小为 16384，而使用每隔一个的采样。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[3])-log10(125)}/{log10(250)-log10(125)}]

ΔFreq[3]=44100/16384

（2）下降部分范围从 250Hz-500Hz。FFT 大小为 8192。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[4])-log10(250)}/{log10(500)-log10(250)}]

ΔFreq[4]=44100/8192

[合成频带 5]

采样间隔为 10.76Hz。

（1）上升部分范围从 250Hz-500Hz。FFT 大小为 8192，而使用每隔一个的采样。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[4])-log10(250)}/{log10(500)-log10(250)}]

ΔFreq[4]=44100/8192

（2）下降部分范围从 500Hz-1000Hz。FFT 大小为 4096。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[5])-log10(500)}/{log10(1000)-log10(500)}]

ΔFreq[5]=44100/4096

[合成频带 6]

采样间隔为 21.53Hz。

（1）上升部分范围从 500Hz-1000Hz。FFT 大小为 4096，而使用每隔一个的采样。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[5])-log10(500)}/{log10(1000)-log10(500)}]

ΔFreq[5]=44100/4096

（2）下降部分范围从 1000Hz-2000Hz。FFT 大小为 2048。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[6])-log10(1000)}/{log10(2000)-log10(1000)}]

ΔFreq[6]=44100/2048

[合成频带 7]

采样间隔为 43.07Hz。

（1）上升部分范围从 1000Hz-2000Hz。FFT 大小为 2048，而使用每隔一个的采样。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[6])-log10(1000)}/{log10(2000)-log10(1000)}]

ΔFreq[6]=44100/2048

（2）下降部分范围从 2000Hz-4000Hz。FFT 大小为 1024。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[7])-log10(2000)}/{log10(4000)-log10(2000)}]

ΔFreq[7]=44100/1024

[合成频带 8]

采样间隔为 86.13Hz。

（1）上升部分范围从 2000Hz-4000Hz。FFT 大小为 1024，而使用每隔一个的采样。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[7])-log10(2000)}/{log10(4000)-log10(2000)}]

ΔFreq[7]=44100/1024

（2）下降部分范围从 4000Hz-8000Hz。FFT 大小为 512。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[8])-log10(4000)}/{log10(8000)-log10(4000)}]

ΔFreq[8]=44100/512

[合成频带 9]

采样间隔为 172.27Hz。

（1）上升部分范围从 4000Hz-8000Hz。FFT 大小为 512，而使用每隔一个的采样。

$\theta$=PAI/2*[{log10($j$*ΔFreq[8])-log10(4000)}/{log10(8000)-log10(4000)}]

$\Delta Freq[8]=44100/512$

（2）下降部分范围从 8000Hz-16000Hz。FFT 大小为 256。

$\theta=PAI/2*[\{\log10(j*\Delta Freq[9])-\log10(8000)\}/\{\log10(16000)-\log10(8000)\}]$

$\Delta Freq[9]=44100/256$

在接下来频率最高的合成频带 10 中，在其高侧没有重叠带，因此上一半形成了平坦部分。

[合成频带 10]

采样间隔为 172.27Hz。FFT 大小为 256。

（1）上升部分范围从 8000Hz-16000Hz，使用分析频带 9 的采样号 j=48, 49, 50, …, 90, 91, 92。

$Real[j]=Real[j]*\sin^2(\theta)$

$Img[j]=Img[j]*\sin^2(\theta)$

$\theta=PAI/2*[\{\log10(j*\Delta Freq[9])-\log10(8000)\}/\{\log10(16000)-\log10(8000)\}]$

$\Delta Freq[9]=44100/256$

（2）平坦部分范围从 16000Hz 到 22050Hz，FFT 大小为 256，采样号 j=93, 94, …, 128, 129。如原样使用这些值。

在本实施例中，根据频率特性的单个采样数据（沿频率轴），对前述 10 个合成频带中的每一频带进行 FFT 逆变换算术运算，从而获得单个合成频带的时轴频率响应波形，随后相加地合成这些合成频带的频率响应波形来得到整个音频范围的脉冲响应波形。

图 2 是示出用于使用前述对应分析频带的频率特性而获得单个合成频带的脉冲响应波形，并用于获得整个音频范围的脉冲响应波形的示例操作顺序的流程图。图 2 的流程图表示用于确定从组成扬声器阵列的单个扬声器单元输出的哪种响应特性声音出现在特定声音接收点的处理。

首先，在步骤 s201 读出多个扬声器单元之一的特性。通过将均衡器的特性与安装在预定方位的扬声器单元的频率特性相卷积，来针对每个分析频带预先确定这些特性，其中所述扬声器单元的频率特性是关于朝向声音接收点的方向得到的。

首先，在步骤 s202 选择合成频带 1-合成频带 10 中任一频带，

并且确定所选合成频带的中心频率（即，在对应于所选合成频带的两个相邻分析频带之间的边界处的频率）。随后，除了分析频带 0 的频带以外，把低于所确定的中心频率（31.25Hz、62.5Hz、125Hz，…，或 16000Hz）的低侧频率带（上升部分）乘以窗函数 $\sin^2\theta$（步骤 s203），并且选择相乘的低侧频率带的每隔一个的数据（步骤 s204）。另一方面，除了分析频带 10 的频带以外，把高于所确定的中心频率的高侧频率带（下降部分）乘以窗函数 $\cos^2\theta$（步骤 s205）。

然后，根据由此获得的合成频带的数据来进行 FFT 逆变换算术运算（步骤 s206），从而得到该频带的时轴脉冲响应波形。

在步骤 s208 确定是否已针对所有合成频带完成步骤 s202 到 s207 的操作。重复步骤 s202 到 s207 的操作直到在步骤 s208 确定为“是”。一旦步骤 s208 确定为“是”，则相加地合成针对所有合成频带获得的脉冲响应波形，从而得到整个音频范围的脉冲响应波形（步骤 s209）。然后，将头相关传递函数与整个音频范围的脉冲响应波形进行卷积（步骤 s209a 和 s210）。然后，基于扬声器与声音接收点之间距离的延迟被给予脉冲响应波形（步骤 s211），从而提供针对从扬声器单元到位于声音接收点的听音者的音场的两个（即，左和右）声道的脉冲响应。

在步骤 s212 确定是否已完成针对所有扬声器单元的步骤 s201 到 s211 的操作。重复步骤 s201 到 s211 的操作直到在步骤 s212 确定为“是”。一旦步骤 s212 确定为“是”，则把针对所有扬声器确定的脉冲响应加到一起（步骤 s213），从而提供从扬声器阵列到听音者的音场中的两个（即，左和右）声道的脉冲响应。

本发明的声学设计辅助设备构成一个将由此确定的脉冲响应用作滤波器系数的音场模拟器。即，本发明的声学设计辅助设备构成一个使用该脉冲响应作为滤波器系数的滤波器，该滤波器对音乐声音或音调（干声源（dry source））进行滤波处理，并将处理过的音调输出到耳机。因此，任何设计人员通过声音的测试收听能预先知道用设计的扬声器系统输出了哪种声音。

现在，将说明应用了上述响应波形合成方法的声学设计辅助设

备。该声学设计辅助设备 1 意在在将扬声器系统（声音加强系统）安装在诸如音乐厅或会议厅之类的集会场所（或声学设施）中的情况下有助于诸如装置的选择和设置之类的设计。当在使用了所设计的扬声器系统的集会场所内输出声音时，声学设计辅助设备 1 用来模拟集会场所内形成的音场，将模拟结果可视地显示在显示器上，并通过耳机可听见地输出模拟结果。

图 3A 是示出声学设计辅助设备的一般设置示例的框图。如图所示，声学设计辅助设备 1 包括显示器 101、操作部分 102、CPU 103、如硬盘（HDD）之类的外部存储装置 104、存储器 105 和声音输出装置 106。操作部分 102、硬盘（HDD）104、存储器 105 和声音输出装置 106 与 CPU 103 相连。

显示装置 101 为例如通用液晶显示器的形式，其显示用于辅助各种设置条件输入的屏幕（参见图 5-7）。

操作部分 102 接收各种设置条件的输入、指示音场模拟的输入、指示扬声器布局最佳化的输入、以及模拟结果显示风格的选择。

CPU 103 执行存储在 HDD 104 中的程序。响应于经由操作部分 102 给出的指示，CPU 103 执行与声学设计辅助设备 1 的其他硬件资源相结合的程序中对应之一。

HDD 104 中存储了声学设计辅助程序 10、通过对扬声器周围的脉冲响应等进行 FFT 变换而得到的扬声器特性数据（下文称为“SP 数据”）107、作为适合扬声器的均衡器的数据的均衡器数据 108、扬声器数据表 109、以及集会场所基本形状数据表 110。

存储器 105 具有一设置来执行声学设计辅助程序 10 的区域以及一设置来临时存储（缓存）声学设计辅助处理中生成的数据的区域。SP 数据 107、均衡器数据 108 等存储（缓存）在存储器 105 中。注意，均衡器数据 108 是通过对均衡器的设置进行算术运算而得到的数据，其意在根据期望的设计来调整从扬声器阵列输出的声音信号的频率特性。

声音输出装置 106 根据存储在 HDD 104 中的声源数据产生声音信号。声音输出装置 106 包括 DSP（数字信号处理器）和 D/A 转换器，

并且其具有用于对声音信号进行均衡、延时等操作的信号处理函数1061。例如，在将声音接收表面的预定位置中的音场通过耳机、扬声器等音频地确定为声学设计辅助设备1中的模拟结果的情况下，经过信号处理的声音信号被输出到耳机、扬声器等。

注意，声音输出装置106不必为硬件形式，而可以通过软件来实现。声学设计辅助设备1还可以包括声音信号输入接口，从而可从声音输出装置106输出外部输入声音信号。

这里，硬盘104中存储的SP数据107是在声学设计辅助设备1中可选的多种扬声器的频率特性数据。如上面关于响应信号合成方法的说明，以用作逐个倍频程划分的标准单位的1000Hz来将0Hz-22050Hz的音频范围分为基于逐个倍频程的9个分析频带，并且单个分析频带的数据作为SP数据107B存储于硬盘104中。单个分析频带的被分割的频带和FFT大小如上“表1”所示。在声学设计时，来自用户所选的一个扬声器的对应于期望声音接收点的关于一个方向的SP数据从HDD 104中被读出并存储到存储器105中。为方便起见，存储在存储器105中的这些SP数据由标号107B表示。来自单个扬声器的对应于期望声音接收点的关于所有特定方向的SP数据107被存储在HDD 104中，并且为方便起见用标号107A表示。

扬声器数据表109用作数据库，其用来在已经选择了集会场所的形状和大小时选择适合于具体集会场所（或声学设施）的扬声器。作为一示例，在扬声器数据表109中存储了每一个都包含多个扬声器单元的扬声器阵列的数据。然而，本发明的声学设计辅助设备1不必限制于使用了扬声器阵列的应用。

集会场所（或声学设施）基本形状数据表110包括集会场所（或声学设施）形状名称组、表示集会场所大小的坐标数据、以及表示集会场所内部形状的图像位图。坐标数据还包括用于设置集会场所中空间形状的数据。

图4是示出由声学设计辅助设备1执行的设计辅助处理的一般操作顺序示例的流程图。声学设计辅助设备1执行三个主要步骤ST1到ST3。在步骤ST1，设置模拟条件。在接下来的步骤ST2，根据设

置的模拟条件来计算表示用以显示模拟结果的特性的参数数据。此时，从存储在 HDD 104 中的所有方向特定的 SP 数据 107A 中选择关于一个特定方向的 SP 数据 107B，并计算均衡器数据 108。

在步骤 ST3，将声学设计辅助设备 1 的模拟结果输出到显示装置 101 或耳机。在把模拟结果以声音方式输出到耳机时，应用上述响应波形合成方法。

在步骤 ST1 的模拟条件设置操作中，在步骤 ST11 到 ST14 设置模拟所需的各种条件。具体地说，设置了安装有扬声器的空间的信息，例如集会场所的形状（下文简称为“空间形状”）。更具体地说，选择空间的一般形状，并以数值方式输入该形状的详情（参见图 5 和 6）。在步骤 S12，选择扬声器，并对所选扬声器的安装位置进行设置。在步骤 ST13，设置单个所选扬声器的安装条件；该安装条件是例如扬声器阵列内扬声器单元之间的安装角度（下文也称为“内部扬声器单元安装角度”）。在接下来的步骤 ST14，设置模拟条件，诸如关于是否考虑扬声器单元之间干扰条件和关于在声音接收表面布置多精细的网格点（参见图 11）的条件。

一旦在步骤 ST1 的条件设置操作中设置了所有条件，则在步骤 ST2 执行模拟，并且模拟结果在步骤 ST3 显示在显示装置 101 上或经由耳机输出。

迄今为止，通常是对于设计人员或工程师通过以尝试错误法重复步骤 ST1 到 ST3 的操作来找到最佳设计。然而，在本发明的声学设计辅助设备 1 中，根据步骤 ST1 设置的空间形状的信息，在步骤 ST15 自动地使得扬声器安装角度和特性的设置数据最佳化，并且辅助该设置。

步骤 S15 的自动最佳化和辅助操作包括步骤 ST16 和 ST17。在步骤 ST16，从登记在扬声器数据表中的扬声器中，能将用于该集会场所中的扬声器候选显示在显示装置 101 上。当经由操作部分 102 选择扬声器时，对于将所选扬声器安置在步骤 ST11 所选空间中的可能场景显示在显示装置 101 上。

在步骤 ST17，自动计算安装的扬声器阵列角度（水平方向和垂

直方向）的最佳组合方式和扬声器单元之间最佳角度（即，内部扬声器单元安装角度）。这里，成为所有扬声器方位轴的代表值的扬声器阵列的角度表示水平方向和垂直方向上期望的基准扬声器单元的方位轴的角度。扬声器单元之间的安装角度表示相邻扬声器单元之间的角度（开度角）。

下面段落参考图 5 更详细地说明包括在步骤 ST1 的条件设置操作中的步骤 ST11 到 ST17。下图中的标号一般对应于图 4 所示的步骤号。

首先，参考图 5 和 6 描述 ST11 的空间形状设置操作。图 5 是示出用于设置将要安置扬声器的空间的一般形状的 GUI（图形用户界面）的示例。声学设计辅助设备 1 将如图所示的空间形状设置屏幕 11A 显示在显示装置 101 上，以允许设计人员来选择要安装扬声器的空间的轮廓。在空间形状设置屏幕 11A 的上端靠后显示了形状选择框 11C，用来允许设计人员选择扇形和箱形之一。一旦设计者通过用未示出的鼠标等选中形状选择框 11C 中的标记“扇形”来选择了“扇形”，扇形声学设施等的多个形状示例就被显示在详细形状选择选择框 11D 上。因而，允许用户选择显示在详细形状选择框 11D 上的期望的形状示例之一。

一旦设计人员选择了显示在详细形状选择框 11D 上的扇形示例之一，则显示装置 101 上的显示屏幕从图 5 的空间形状设置屏幕 11A 切换到图 6 的空间形状设置屏幕 11B。

在空间形状设置屏幕 11B 上，所选的声学设施的形状作为图画 11F 显示在空间形状显示框 11E 中。通过 CPU 103 从存储在 HDD 104 中的集会场所基本形状数据表 110 中读出对应的集会场所的集会场所基本形状数据来显示该空间形状设置屏幕 11B。设计人员在该屏幕上输入了对将要安置或安装扬声器的空间的大小进行确定的形状参数。

在空间形状设置屏幕 11B 上，允许设计人员把将要安置扬声器的空间的形状以数值形式输入到形状参数输入框 11G。这里，设计人员可通过数值输入来设置关于舞台宽度、声学设施的高度和深度、单

个层的高度和斜面（倾斜）角度等的参数。当通过这些输入操作改变了形状参数的数值时，由图画 11F 所指示的空间形状按照数值改变而改变。根据集会场所（声学设施）的形状来选择形状参数输入框 11G 中所指示的参数。例如，在集会场所（声学设施）为扇形的情况下，显示了将输入扇形的角度的区域。而且，在集会场所（声学设施）具有第二和第三层的情况下，显示了将输入第二和第三层的形状数据的区域。与集会场所基本形状数据 110 相关联地存储按照集会场所（声学设施）形状所需的参数。

一旦设计人员在输入所有形状参数后按下确定按钮 11H，在显示装置 101 上的显示从图 6 的空间形状设置屏幕切换到对应于图 4 的步骤 ST12 到 ST16 的图 7 的扬声器选择/安装设置屏幕 12。在图 7 的扬声器选择/安装设置屏幕 12 上显示了用途选择框 12A、空间形状显示框 11E、形状数据显示框 12B、扬声器安装位置显示框 12C 和最佳扬声器候选显示框 16。

在空间形状显示框 11E 中，根据经由图 5 和 6 的屏幕而设置的空间形状，来按虚拟实际空间形状的比例显示空间形状。

用途选择框 12A 是用于选择声学设施等的用途的显示区，经由该用途选择框设计人员能通过选中标记“音乐”和/或“演讲”来选择“音乐”和“演讲”中任一个或者二者。这里，用途“音乐”意在用于专注于与诸如声压级的频率特性之类的音质有关的声学性能的声学设计。另一用途“演讲”意在用于专注于与声音清晰度有关的声学性能的声学设计。

扬声器安装位置显示框 12C 是用于选择将要安装扬声器的适合位置的显示区。设计人员可通过在扬声器安装位置显示框 12C 中选择“中间”、“右”和“左”中任意一个来选择“舞台中间”、“舞台右”和“舞台左”中任意一个作为适合位置。

当设计人员通过用鼠标等选中条目标记而在用途选择框 12A 和扬声器安装位置显示框 12C 中选择各个期望的设置条目时，将最佳扬声器候选显示在最佳扬声器候选显示框 16 中。最佳扬声器候选的选择对应于图 4 的步骤 ST16，并且自动受到声学设计辅助设备 1 的影

响。

CPU 103 从存储在硬盘 104 中的扬声器数据表 109 中选择最佳扬声器候选。以图 8 所示方式构成扬声器数据表 109。

扬声器数据表 109 中存储了适合根据经由图 5 和 6 的屏幕而设置的空间形状的信息来选择适合扬声器的数据，并且所存储的数据包括表示扬声器类型名称 109A 的数据、面积（即，面积大小）109B 的数据、用途 109C 的数据、安装位置 109D 的数据和水平垂直比 109E 的数据。

如果形状数据显示框 12B 所指示的面积（即，声音接收表面的面积)为 450m$^2$ 并且在扬声器安装位置显示框 12C 中选择或选中了“中间”，则可从图 7 的最佳扬声器候选显示框 16 所指示的扬声器数据表 109 中选择扬声器 D 或扬声器 J。

现在将参考图 7 来描述在安装了扬声器阵列时用于显示示例状态的 GUI。一个或多个扬声器候选被显示在扬声器位置设置屏幕 12 的下部区域，并且在已经选择了扬声器候选之一时，所选的扬声器阵列 16A 以与空间形状 11F 相同的比例显示在空间形状显示框 11E 中。以此方式，可在视觉上检查扬声器阵列 16A 是如何安置在该空间中的。扬声器阵列 16A 的显示也对应于图 4 的步骤 ST16。步骤 ST16 以扬声器阵列 16A 的显示而结束，并且随后控制返回到步骤 ST12。

而且，当已经显示了扬声器阵列 16A 时，可以通过空间形状显示框 11E 来进行扬声器阵列 16A 覆盖带的选择。图 7 示出了在已选择了空间的第一层部分中的声音接收表面的一半时的覆盖带 16E。或者，允许用户选择整个空间、整个第一层部分、整个第二层部分或整个第三层部分，该选择对应于图 4 的步骤 ST12。然后，在图 4 的步骤 ST17，声学设计辅助设备 1 的 CPU 103 设置扬声器安装条件，即扬声器阵列的角度和扬声器阵列的单个扬声器单元之间的安装角度。

下面段落参考图 9 到 13 更详细地描述步骤 ST17。图 9 是说明用于自动计算扬声器阵列的角度和扬声器阵列的扬声器单元之间的安装角度的设置的操作顺序的概念图。

图 4 的步骤 ST17 进行的计算包括五个计算步骤（A）到（E）。

执行这些计算来确定在安装了图 7 所选扬声器阵列 16A 的情况下，扬声器阵列的角度和扬声器阵列的扬声器单元之间的安装角度的最佳值。作为最佳值，存在能最有效地实现“所选声音接收表面中声压级的均匀化和最佳化”的采用值。更具体地说，如图 9 中的（D）所示，该值能够使在整个声音接收表面上设置的网格点中的声压水平中的标准偏差最小化。

在步骤 ST17 的计算操作中，对扬声器的轴线（对应于方位）与声音接收表面之间的交点的轴点 17B、17C 和 17D 处的声压级的频率特性进行最佳化处理。

如图 9 中的（A）所示，通过从图 8 的扬声器数据表 109 中读出图 7 中所选扬声器阵列 16A 可接受的扬声器单元之间的可能安装角度，并且随后从读出的可能安装角度中进行选择，来进行扬声器阵列的扬声器单元之间安装角度的选择。扬声器单元之间的这些安装角度对于单个扬声器阵列来说是特定的或者特有的，并且在实际安装时，通过扬声器阵列 16A 的夹具来设置扬声器单元之间的安装角度。

为了描述方便，用$\theta$int表示扬声器单元之间的安装角度。而且，需要在水平和垂直两个方向上都设置要被安装的扬声器阵列的角度，这种水平和垂直方向上的角度组合表示为$(\theta, \varphi)$。这里，水平方向的安装角度$\theta$的范围是$-180^{\circ} < \theta \leq 180^{\circ}$，而垂直方向的安装角度$\varphi$的范围是$-90^{\circ} < \varphi \leq 90^{\circ}$。扬声器单元之间的安装角度由这些角度$(\theta int, \theta, \varphi)$确定。

图 9 的（B）示出了使用包括三个扬声器单元的扬声器阵列的情况。在此情况下，需要设置两类安装角度$\theta$int，即扬声器单元 16B 和 16C 之间的相对角度$\theta$int1和扬声器单元 16C 和 16D 之间的相对角度$\theta$int2。

为了设置扬声器单元之间的安装角度，该设备搜索能使上述标准偏差最小化的扬声器阵列角度$(\theta, \varphi)$和扬声器单元间的安装角度$\theta$int（即，$\theta$int1和$\theta$int2），同时如图 9 中的（E）所示顺序地改变角度。针对扬声器单元间的安装角度$\theta$int（即，$\theta$int1和$\theta$int2），根据扬声器数据表 109 来确定角度变化间距（或角度变化的最小单位）。

为了减少必要的计算时间，可把程序设计成在最初搜索阶段中角度按照较大的角度变化间距而变化。

下面用一些特定示例来说明可设置角度（$\theta$int, $\theta$, $\varphi$）的模式或组合的数量。在从扬声器候选显示框 16 中选择扬声器类型 D 作为扬声器类型名称 109A 时，扬声器阵列的角度在 $-180 < \theta \leq 180$ 和 $-90 < \varphi \leq 90$ 范围内每次顺序变化 30°（即，具有 30° 变化间距），如图 9 中的（A）所示。而且，针对单个扬声器单元，扬声器单元间的安装角度可在 30° 到 60° 范围内每次顺序变化 2.5°（即，具有 2.5° 变化间距）。即，通过把 180° 设置为角度 $\theta$，把 90° 设为角度 $\varphi$，把 60° 设为角度 $\theta$int 来设置角度（$\theta$int, $\theta$, $\varphi$），如图 9 中的（A）中 17A 所指示。在此情况下，因为角度 $\theta$ 以 30° 变化间距而变化，所以角度 $\theta$ 可在-180° 到 180° 范围内设置成 12 个不同的值，而且因为角度 $\varphi$ 以 30° 变化间距而变化，所以角度 $\varphi$ 可在-90° 到 90° 范围内设置成 7 个不同的值。而且，对于如图 8 所示的初始可设置范围是 30 度（30° 到 60°）并且变化间距为 2.5° 的扬声器类型 D，角度 $\theta$int 可设置成 13 个不同角度（即，(60-30)/2.5+1=13）。而且，因为有两种类型的角度 $\theta$int，即 $\theta$int1 和 $\theta$int2，所以可能有 $13^2$ 种组合。因而，可设置角度组合量总共为 14,196（即，12×7×(13×13)=14,196）。而且，因为通常较高和较低的扬声器单元 16B 和 16D 是以相对于中间扬声器单元 16C 水平对称组合安装的，所以可假定“$\theta$int1=$\theta$int2”来计算可设置角度组合，从而可设置角度组合量总共为 12×7×13=1,092。

然后，如图 9 的（C）中所示对图 9 中的（B）确定的轴点处的声压级的频率特性进行最佳化处理。因为稍后将参考图 10A 和 10B 详述图 9 的（C）中所示的频率特性最佳化，所以只在此进行简述。图 9 的（C）中所示的频率特性最佳化意在使得以增加的效率来执行图 9 的（D）中所示的指标计算；换言之，频率特性最佳化意在“确定用于使得轴点 17B、17C 和 17D 之间的声压级均匀化的均衡器特性及其频率特性”。因为扬声器阵列 16A 的单个扬声器单元 16B、16C 和 16D 通常具有很宽的方向特性，所以扬声器单元 16D 的声音也能到

达轴点 17B，扬声器单元 16B 的声音也能到达轴点 17D。因而，在轴点 17B 处的音量相对较小，并且只执行用于仅增加扬声器单元 16B 的声压级的操作的情况下，其他轴点 17C 和 17D 处的音量也增加，这将导致不希望的失衡。因此，在根据本实施例的设备中，准备了单个扬声器单元 16B、16C 和 16D 的均衡器参数的模式。而且，在该设备中，利用上述图 3 的 SP 数据 107（即，通过对扬声器周围所有角度的脉冲响应进行 FFT 变换而得到的数据）来计算从以图 9 的（A）中设置的角度安装的并在轴点 17B、17C 和 17D 处接收的扬声器阵列 16A 的单个扬声器单元 16B、16C 和 16D 传送的声音的频率特性，从而选择最佳模式。下面描述图 9 的（C）中所示的操作流程。

首先，在步骤 S171，设置基准频带 fi（fi 表示离散值（i=1-N））。在此情况下，根据参数均衡器的通道，基准频带 fi 可设为 62.5Hz、125Hz、250Hz、500Hz、1kHz、2kHz 和 8kHz 中任一个。

在下一步骤 S172，针对单个扬声器单元 16B、16C 和 16D 设置用于调整基准频带增益的均衡器参数模式（G1，G2，G3）fiHz。

针对由此设置的均衡器参数模式，在接下来的步骤 S173，计算上述轴点 17B、17C 和 17D 处的声压级的频率特性，随后选择每个基准频带中能使得轴点 17B、17C 和 17D 之间的离差或变化最小的最佳模式。更具体地说，计算针对每个基准频带来计算轴点 17B、17C 和 17D 之间的离差，随后计算该离差绝对值的平方根，从而计算针对每个基准频带的标准偏差。这种标准偏差表示特殊频率增益中的变化度，标准偏差的值越小表示增益变化越小。因此，表示较小标准偏差的均衡器参数模式可称为更适合的均衡器参数模式。

然后，对每个频率独立地选择最佳均衡器参数模式（G1，G2，G3）fiHz。通过上述操作，在步骤 S174 确定针对扬声器单元 16B、16C 和 16D 的均衡器参数。

尽管通过上述参数确定步骤对每个频率选择了最佳均衡器参数模式，但是为了在参数均衡器中进行设置，由此确定的均衡器参数被设为每个波峰而不是每个频率的均衡器参数（PEQ 参数）（步骤 S175）。随后，把表示这样设置的均衡器参数（PEQ 参数）的数据针

对单个扬声器单元 16B、16C 和 16D 存储到外部存储装置 104 等中。

在图 9 的（C）中所示的操作阶段或处理中，尽管未特别示出，还根据 SP 数据 107 执行了声音水平最佳化处理。

而且，对以图 9 的（C）中所示的方式计算出的均衡器参数进行 FFT 变换，并且把这样经 FFT 变换的均衡器参数作为均衡器数据 108 存储到图 3 的外部存储装置 104 中。以此方式，可通过仅执行频域中的卷积计算来在步骤 ST2 的模拟参数计算操作中计算模拟参数，并且可即时地输出计算结果。在许多情况下，在如上所述多次改变模拟条件的同时，声学设计辅助设备通过重复执行模拟来执行最佳化设计；对于这样的声学设计辅助设备来说，能非常有效的对均衡器参数进行 FFT 变换。

在图 9 的（D）中，根据单个扬声器单元 16B、16C 和 16D 的 PEQ 参数来计算声音接收表面区域内的声压级的标准偏差，并且计算声音接收表面区域内的声压级及其频率特性。出于这些目的来按照如下所述执行步骤 S176－S178 的操作。

在步骤 S176，在声学设施的整个覆盖面积中设置多个网格点 17J，如图 11 所示。将网格点 17J 用作采样声音接收点来实现整个声音接收表面区域的声学设计。

在步骤 S177，根据图 8 的 SP 数据 107 等确定单个网格点 17J 处的声音水平。更具体地说，通过针对每个扬声器单元来对经过 FFT 变换的均衡器数据 108 与对应方向的 SP 数据 107B 进行卷积，并且随后对来自单个扬声器的输出进行相加合成，来确定声音水平。

在接下来的步骤 S178，针对已在步骤 S177 确定的单个网格点 17J 处的声音水平，来计算标准偏差 $\alpha$。更优选的是较小值的标准偏差 $\alpha$，因为其可在整个声音接收表面内的点中获得较小变化。

在图 9 的（E）中，在重设或改变扬声器单元 16B、16C 和 16D 的水平和垂直角度（$\theta i$，$\varphi i$）之后重复图 9 的（A）到（D）的处理。通过重复这些处理，选择能使得以图 9 的（D）中所示的方式确定的标准偏差最小化的角度设置模式。在此情况下，为了减少所需的计算时间，以初始设置为相对较大值并且随后设置为较小值的将要安装的扬

声器阵列的角度变化间距来实现角度搜索。

如上所述，扬声器阵列的最佳角度和单个扬声器单元之间的角度的计算包括：如图 9 的（A）中所示设置角度模式，随后如图 9 的（D）中所示计算声音接收表面区域中声音水平的标准偏差（即，表示声压离差或变化程度的指标），以及找到标准偏差的最小值。为了这些目的，将轴点 17B、17C 和 17D 设为单个扬声器单元的各个覆盖带中的代表点。然后，如图 9 的（C）中所示确定用于使得轴点 17B、17C 和 17D 处的频率特性最小化的均衡器特性，并将该均衡器特性运用到对应的扬声器单元。

参考图 10A 和 10B，下面段落更加详细的描述图 9 的（C）中所示的处理。图 10A 是示出用于使得如图 9 的（C）中所示使得轴点处的频率特性最佳化的处理的流程图，而图 10B 是示出用于使得频率特性最佳化的均衡器设置的示例的示图。

在图 10A 中，将基准频带 fi 顺序设置到 8 个频带（如上所述 62.5Hz 到 8kHz）作为三个扬声器单元 16B、16C 和 16D 的频率增益指数（S171）。基准频带是参数均衡器每个通道的中心频率，如图 10B 所示，其被设置为例如 62.5Hz、125Hz、250Hz、500Hz、1kHz、2kHz 和 8kHz 中的任一个。

在所示例子中，上述与图 9 的（C）所示步骤 S172 有关的增益设置模式（G1、G2、G3）fiHz 被设置到 0dB 到 10dB 的范围，其中 1dB 作为最小单位。因此，对每个基准频率（例如 62.5Hz）设置 $11^3$ 个模式，因此总共设置 $8\times11^3$ 个模式。而且，针对每个模式，每个扬声器单元经过了 FFT 变换的均衡器数据被存储为均衡器数据 108。

在步骤 S173，以每个模式计算轴点处的增益，来选择模式中最佳的一个。该步骤可分成步骤 S1731 到 S1733。

在步骤 S1731，根据图 3 的 SP 数据 107 来计算从扬声器阵列 16A 传送的并且在单个轴点 17B、17C 和 17D 处接收到的声音的频率特性，并且计算并累加每个基准频带 fi 的轴点处的频率增益的数据。

通过对以下所有数据一起进行卷积来针对每个扬声器单元执行频率增益计算，所述数据为：经过傅立叶变换和时间延迟的相位校正

滤波器的数据、经过傅立叶变换的距离衰减校正滤波器的数据、经过傅立叶变换的均衡器数据 108、以及对应特殊方向的 SP 数据 107B。

在本实施例中，在扬声器单元的数量为三个的情况下，将要累加的频率增益数据的数量为 24 个（即，三个扬声器单元×八个频带=24）。

在步骤 S1732，确定每个基准频带 fi 的三点处频率增益数据之间的标准偏差。

在接下来的步骤 S1733，针对所有在上面步骤 S172 设置的 $11^3$ 个不同模式重复步骤 S1731 到 S1732 的操作，从而找出能使得标准偏差最小化的模式之一。

因而，通过步骤 S1731 到 S1733 的操作，可以确定针对每个基准频带的能使得轴点 17B、17C 和 17D 之间的声压级中的标准偏差最小化的均衡器增益（这些均衡器增益由图 10B 中小黑点表示）。通过重复针对上述全部 8 个基准频带的操作，能在图 10A 的步骤 S174 确定最佳均衡器增益模式。然后，根据确定的均衡器增益模式，在步骤 S175 确定针对每个波峰的用于参数均衡器（PEQ）的参数。如上关于图 9 的（C）所示，重新组织这些参数并且随后存储到每个扬声器单元的外部存储装置 104 中。其后，图 10A 的操作流程结束。

参考图 12 的流程图，下面的段落更详细的描了如何设置扬声器阵列的角度和扬声器阵列的扬声器单元之间的安装角度，以及如何从如图 9 的（A）到（E）所示的所设置角度之间确定最佳角度。

步骤 S21 到 S26 对应于图 9 的（A）中所示的处理。在步骤 S21，针对每个水平和垂直方向，以 30° 变化间距设置扬声器阵列角度（$\theta$, $\varphi$）的模式。而且，针对每个扬声器阵列角度设置单独扬声器单元之间的安装角度 $\theta$int。此时，通过从关于图 8 的对如上所述的扬声器阵列 16A 特定的可设置的角度范围中选择安装角度，来准备单独扬声器单元之间的安装角度 $\theta$int 的模式。这里，可在 $-180 < \theta \leq 180$ 范围内以 30° 变化间距设置角度 $\theta$，而可在 $-90 < \varphi \leq 90$ 范围内以 30° 变化间距设置角度 $\varphi$。

然后，在步骤 S22，从所设置模式中选择能够实现在网格点（例

如图 11 中的 17J）之间的声音水平中减小了的标准偏差的 5 个最佳角度模式（$\theta$, $\varphi$）。在选择这样 5 个最佳角度模式时，需要设置多个扬声器单元间的安装角度$\theta$int，随后选择这样设置的扬声器单元间的安装角度$\theta$int 中最佳的一个。因此，针对每个扬声器阵列角度模式执行步骤 S27 的子程序。

步骤 S27 的子程序包括扬声器单元间的安装角度确定流程。首先在步骤 S271，针对在步骤 S22 所选的扬声器阵列角度模式（$\theta$, $\varphi$）设置多个扬声器单元间的安装角度$\theta$int。

在扬声器单元间的安装角度确定流程接下来的步骤 S272，针对步骤 S22 和 S271 所设置的角度（$\theta$int, $\theta$, $\varphi$）执行步骤 S28 的标准偏差计算流程。这里，通过仅改变与角度（$\theta$, $\varphi$）保持固定的角度$\theta$int 来执行步骤 S28 的每一操作。步骤 S28 的步骤 S281 到 S283 对应于图 9 的（B）到（D）中所示的处理，因此为避免不必要的重复在此不再赘述。

在接下来的步骤 S273，从步骤 S272 所计算的结果中提取能获得最小标准偏差的扬声器单元间的安装角度$\theta$int。其后，步骤 S27 的子程序暂时结束，随后以一组角度（$\theta$, $\varphi$）转变成另一组角度来重新开始。

然后，在步骤 S23，针对在上面步骤 S22 所选择的 5 个角度模式（$\theta$, $\varphi$）中的每一个重新设置位于模式的单个角度前后 15° 的角度的组合。例如，如果所选最佳的 5 个角度模式中给定之一的角度（$\theta$, $\varphi$）的最佳值为 30° 和 45°，则针对$\theta$重新设置最佳角度 30° 和该最佳角度 30° 前后 15° 的 15° 和 45° 的模式（即，15°、30° 和 45° 的模式）。而且，针对$\varphi$重新设置最佳角度 45° 和该最佳角度 45° 前后 15° 的 30° 和 60° 的模式（即，30°、45° 和 60° 的模式）（9 个不同模式）。因此，可设置总共（5×9）个（$\theta$, $\varphi$）的不同模式。在步骤 S27 的上述子程序中，针对每个这样设置的角度模式（$\theta$, $\varphi$）来设置扬声器单元间的安装角度$\theta$int，从而来使得安装角度$\theta$int 最佳。

在步骤 S24，通常以与步骤 S22 相同的方式从步骤 S23 重新设置的模式中选择能实现使网格点（例如图 11 中的 17J）之间声音水平

中的标准偏差减小的 5 个最佳的角度模式($\theta$, $\varphi$)。

步骤 S25 类似于步骤 S23,但与步骤 S23 不同之处在于重新设置了位于所选择的模式的单个角度前后 5°(不是 15°)的角度的组合。例如,如果所选 5 个角度模式中的给定之一的最佳角度$\theta$为 45°,则针对$\theta$重新设置 40°、45° 和 50° 的模式。

在步骤 S26,通常以与步骤 S22 或 S24 相同的方式利用步骤 S27 的子程序,来针对步骤 S25 设置的角度确定($\theta$int, $\theta$, $\varphi$)。然而,与步骤 S22 或 S24 不同,该步骤 S26 选择 1 个(而不是 5 个)最佳角度模式($\theta$, $\varphi$)来最终确定($\theta$int, $\theta$, $\varphi$)。

如上所述,以初始设置为相对大的值并且随后设置为较小值的将要安装的扬声器阵列的角度变化间距来在本实施例中进行角度搜索,从而减少必需的搜索时间。而且,这种角度搜索能防止由于计算成本的问题而使计算变得不可能。

从上面可以看出,本实施例以有关图 4 到 12 的上述方式提供的条件设置和自动最佳化/辅助基本上能使得在过去以尝试错误法来最佳化的条件设置自动化。而且,通过声学输出图 4 的步骤 ST3 的最佳化结果,本实施例能通过耳机来使最佳化结果被确认。

注意,数值、扬声器单元的数量、图 5 的扇形或长方形箱形状、图 6-7 的 GUI、一些图中所示的操作流程等只是说明示例,并且当然本发明并不限于此。尤其是,已将条件设置和模式设置处理作为部分重复的操作流程来示出和描述,但是一旦进行了设置,在重复程序中无需反复设置这些条件和模式。

现在,在下面段落中参考图 13 的流程图来描述在显示了图 5 和 6 的空间形状设置屏幕时声学设计辅助设备的工作情况。图 13 的操作流程对应于图 4 所示步骤 ST11 的空间形状设置操作。

首先,如图 5 所示显示形状选择框 11C,在步骤 S111 确定选择的是扇形还是箱形。如果选择了扇形,则步骤 S111 确定为“是”,从而在形状选择框 11D 中显示多个如图 3 所示的扇形的示例。如果所选择的形状不是扇形,则在步骤 S111 确定为“否”,从而显示多个箱形的示例(未示出)。

在步骤 S114，确定是否从步骤 S112 的扇形选择框 11D 中或步骤 S113 的箱形选择框中选择了任何形状。如果没选择形状，则步骤 S114 确定为“否”，因此设备处于待机。如果在步骤 S114 选择了如确定的任何形状，则显示装置 101 的屏幕切换到另一屏幕，其后控制转到接下来的步骤 S115。

在步骤 S115，确定是否输入指示空间形状的数值。如果没有输入所有预定的数值，则步骤 S115 确定为“否”，并且设备处于待机直到输入了所有的数值。一旦输入所有的数值，则根据步骤 S115 输入的数值，在步骤 S116 计算平面面积大小和空间的垂直水平比。

在步骤 S117，确定决定按钮 11H 是否已被按下。如果决定按钮 11H 如步骤 S117 所确定的已被按下，则操作流程结束。如果决定按钮 11H 没有如步骤 S117 所确定的被按下，则控制回转到 S115 来接收对输入数值的任何期望的改变直到决定按钮 11H 被按下。

接下来，参考图 14 的流程图，描述在显示图 7 的扬声器选择屏幕 12 时本发明的声学设计辅助设备的工作情况。

在步骤 S161 和 S162，确定在扬声器选择屏幕 12 的用途选择框 12A 和扬声器安装位置选择框 12C 中是否已选择了期望的条目。如果前述框中没有作出选择，则在步骤 S161 和 S162 确定为“否”，随后设备处于待机。如果在步骤 S161 和 S162 都确定为“是”，则控制进行到步骤 S163。

在步骤 S163，选择满足在步骤 S161 和 S162 输入的条件的扬声器阵列，并且将这样选择的扬声器阵列显示为如图 7 所示的最佳扬声器候选（步骤 164）。

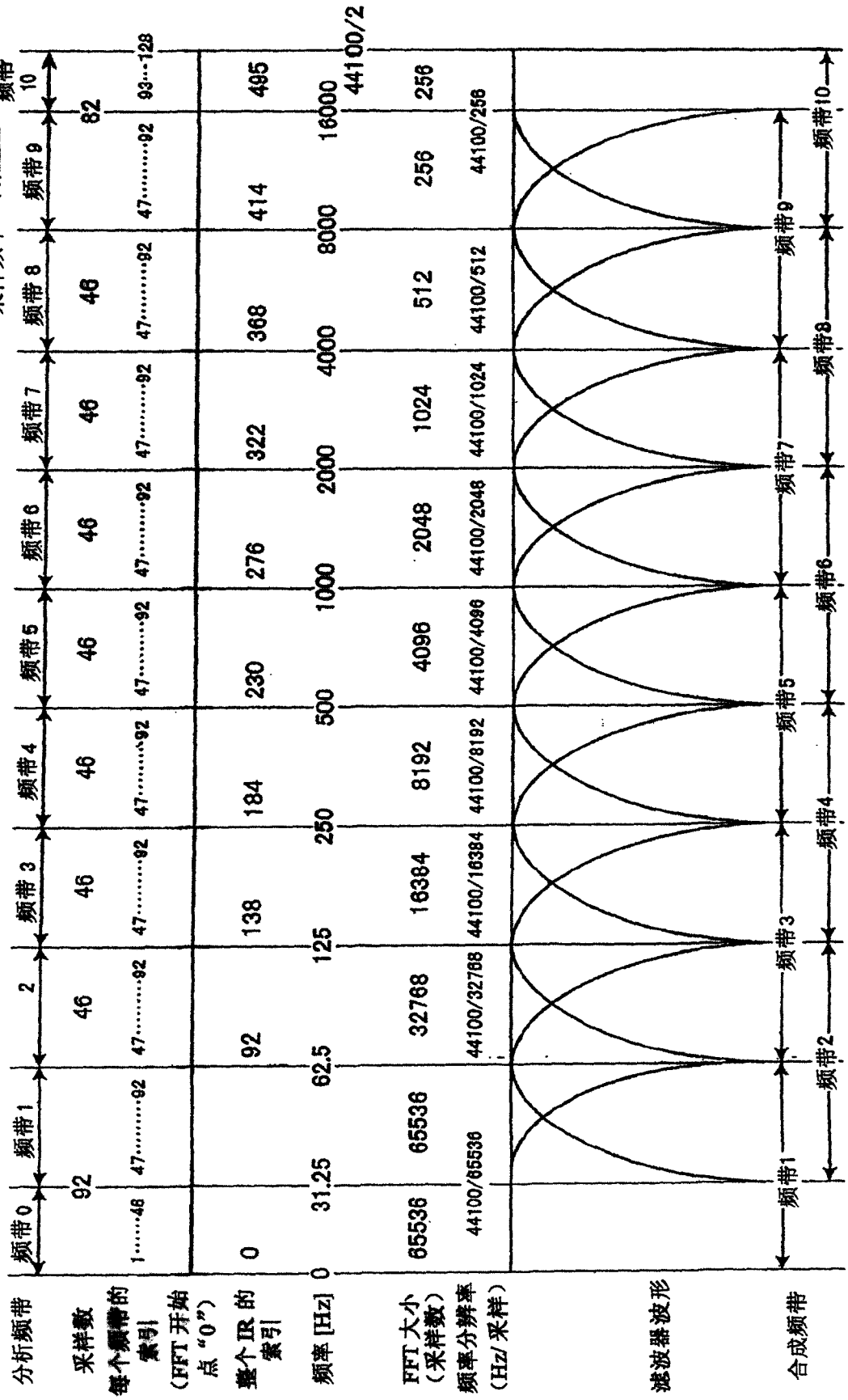

采样频率＝44.1kHz
分析频带
采样数
每个频带的索引（FFT 开始点“0”）
整个 IR 的索引
频率 [Hz]
FFT 大小（采样数）
频率分辨率（Hz/采样）
滤波器波形
合成频带
频带0
频带1
2
频带3
频带4
频带5
频带6
频带7
频带8
频带9
频带10
92
46
1……48
47……92
93…128
0
31.25
62.5
125
250
500
1000
2000
4000
8000
16000
44100/2
65536
32768
16384
8192
4096
2048
1024
512
256
44100/65536
44100/32768
44100/16384
44100/8192
44100/4096
44100/2048
44100/1024
44100/512
44100/256
138
184
230
276
322
368
414
495
$Log_{10}f$

图 1

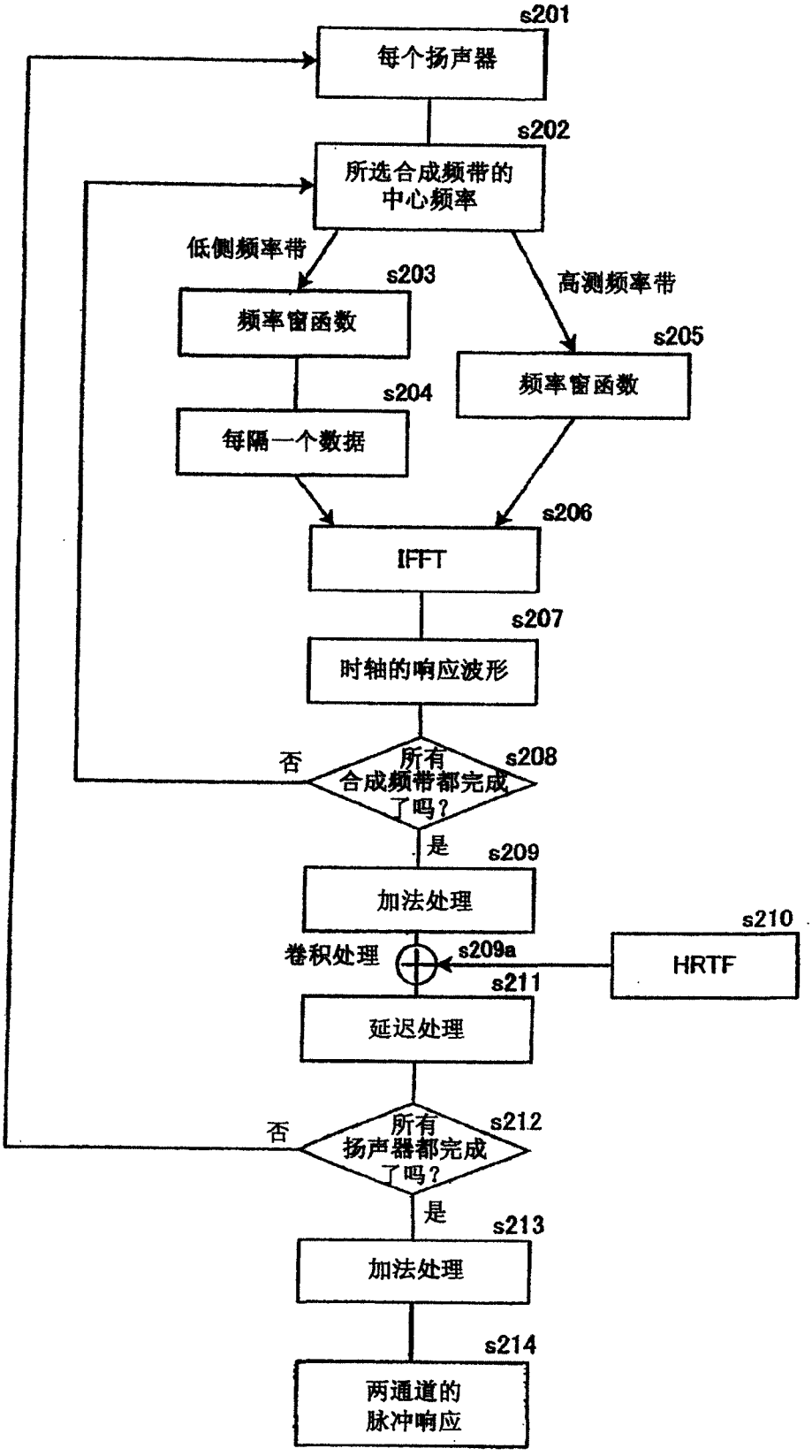

s201
每个扬声器
s202
所选合成频带的中心频率
低侧频率带
高测频率带
s203
频率窗函数
s205
频率窗函数
s204
每隔一个数据
s206
IFFT
s207
时轴的响应波形
否
所有合成频带都完成了吗？
s208
是
s209
加法处理
s210
卷积处理
s209a
HRTF
s211
延迟处理
否
所有扬声器都完成了吗？
s212
是
s213
加法处理
s214
两通道的脉冲响应

图 2

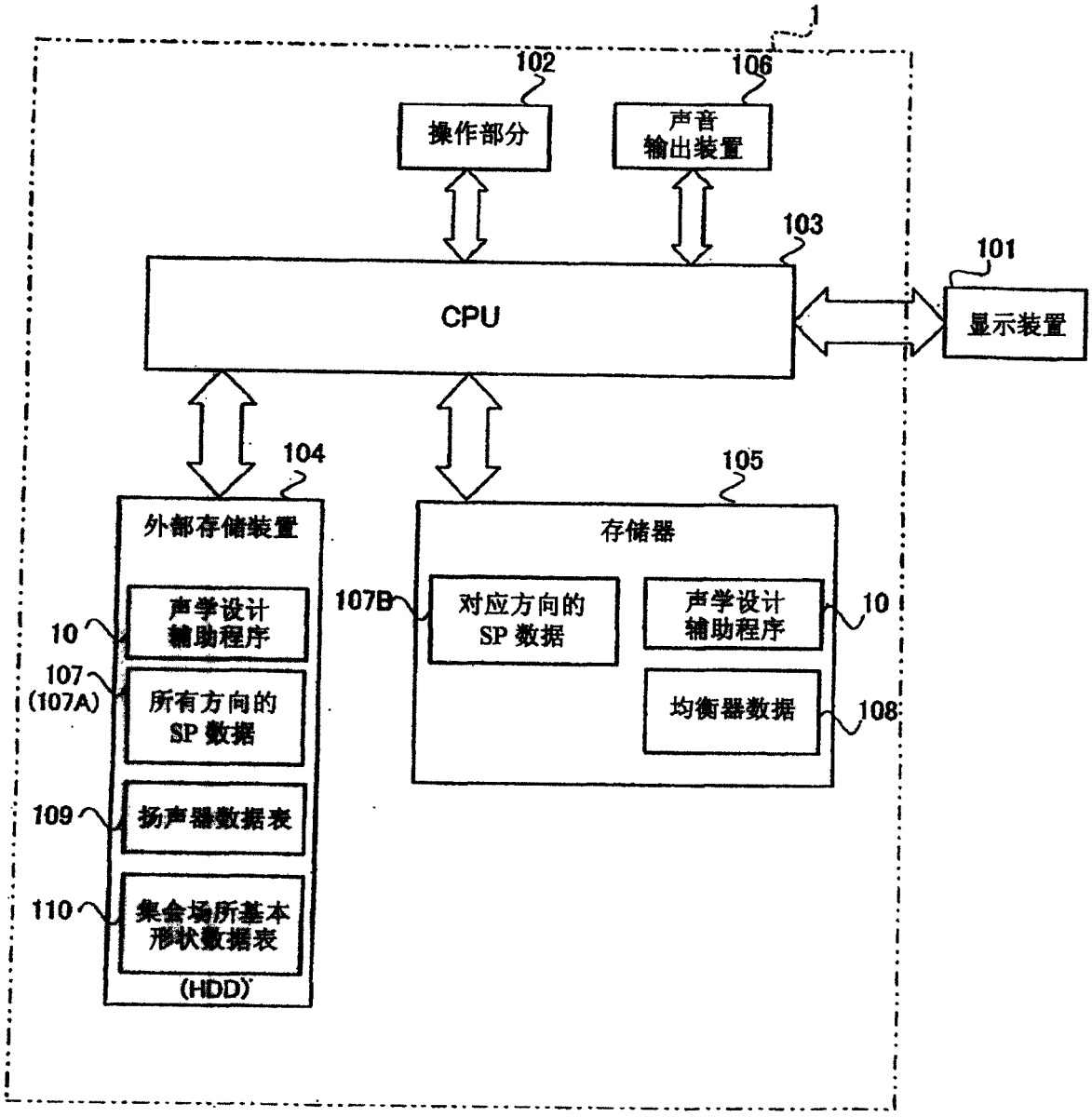



图 3A

| 集会场所<br>形状名称 | 坐标数据 | 图像位图 |
|---|---|---|
| 扇形 1 | $(x, Y, z)_1$ |  |
| 扇形 2 | $(x, Y, z)_2$ |  |
| … | … | … |

图 3B

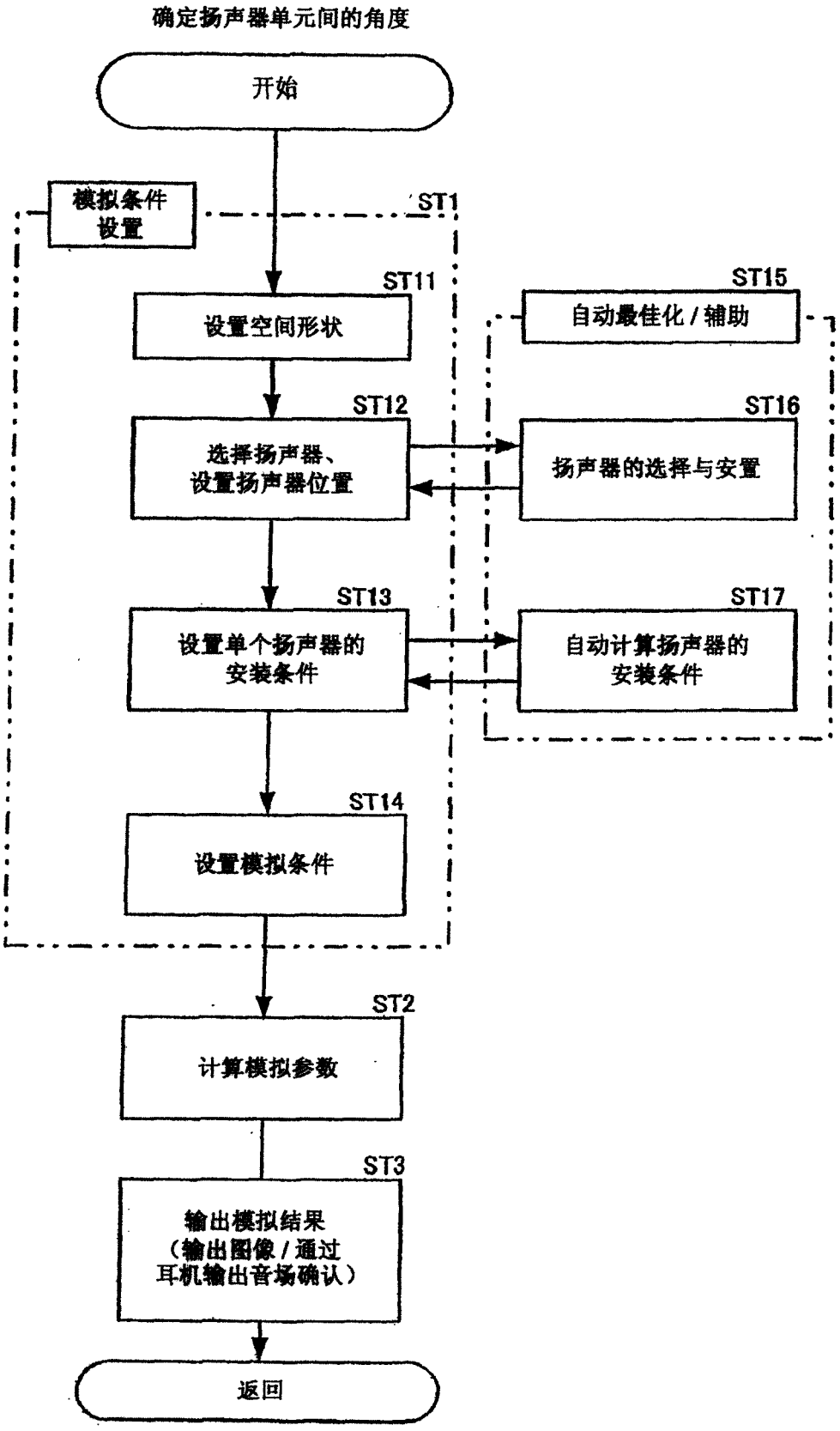

确定扬声器单元间的角度
开始
模拟条件设置
ST1
ST11
设置空间形状
ST12
选择扬声器、设置扬声器位置
ST13
设置单个扬声器的安装条件
ST14
设置模拟条件
ST15
自动最佳化 / 辅助
ST16
扬声器的选择与安置
ST17
自动计算扬声器的安装条件
ST2
计算模拟参数
ST3
输出模拟结果（输出图像 / 通过耳机输出音场确认）
返回

图 4

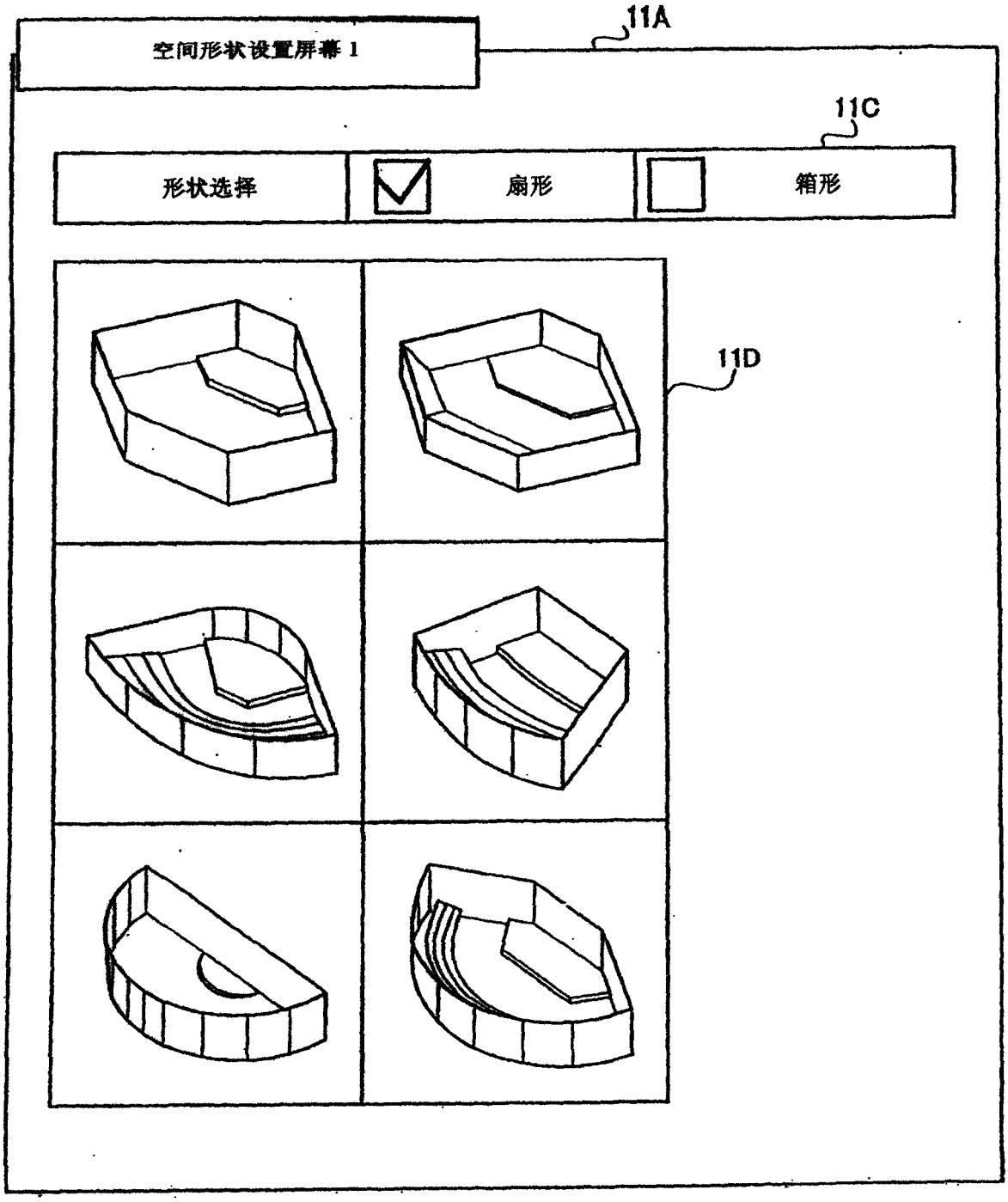



图 5

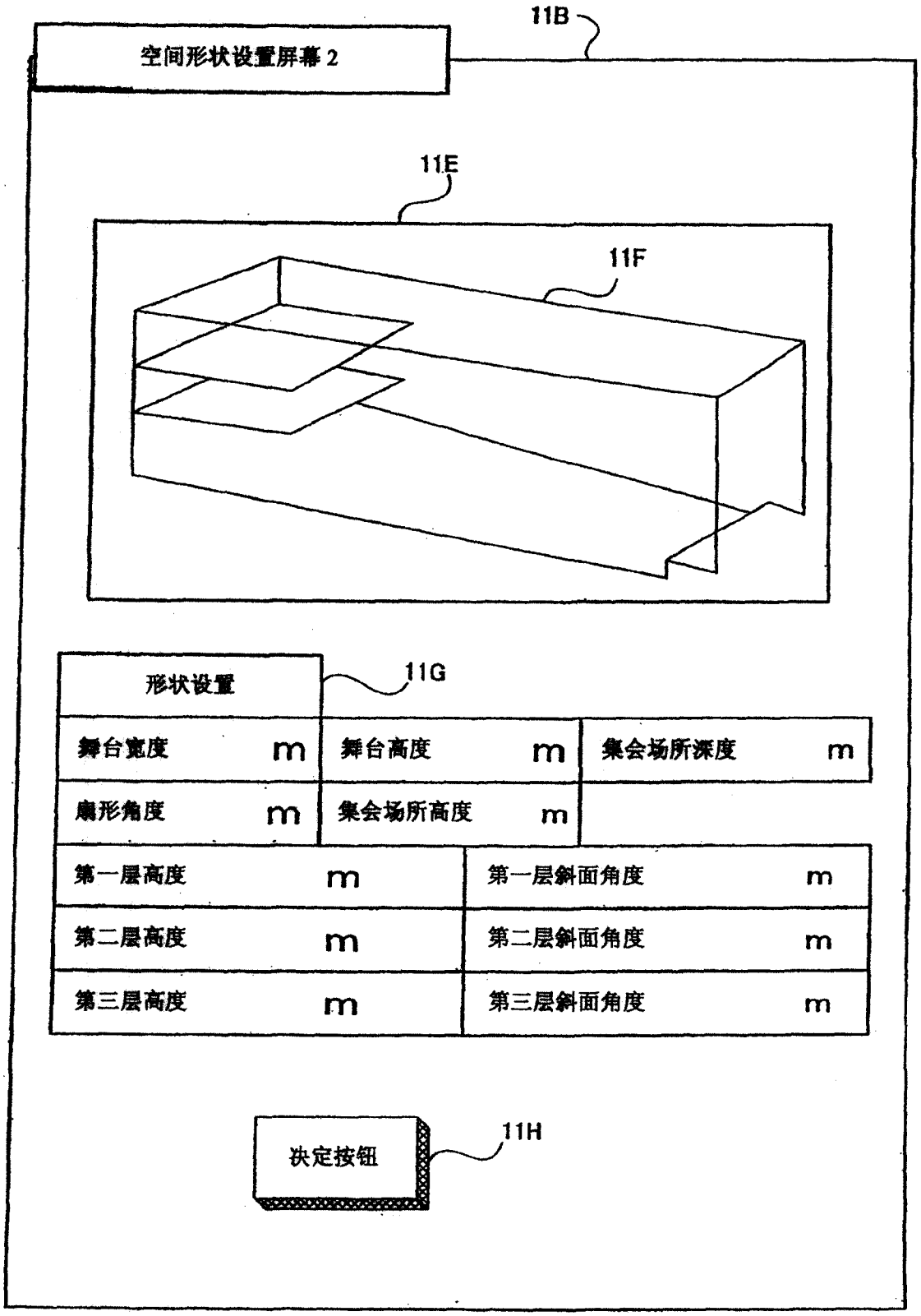

11B
空间形状设置屏幕 2
11E
11F
形状设置
11G
舞台宽度 m
舞台高度 m
集会场所深度 m
扇形角度 m
集会场所高度 m
第一层高度 m
第一层斜面角度 m
第二层高度 m
第二层斜面角度 m
第三层高度 m
第三层斜面角度 m
决定按钮
11H

图 6

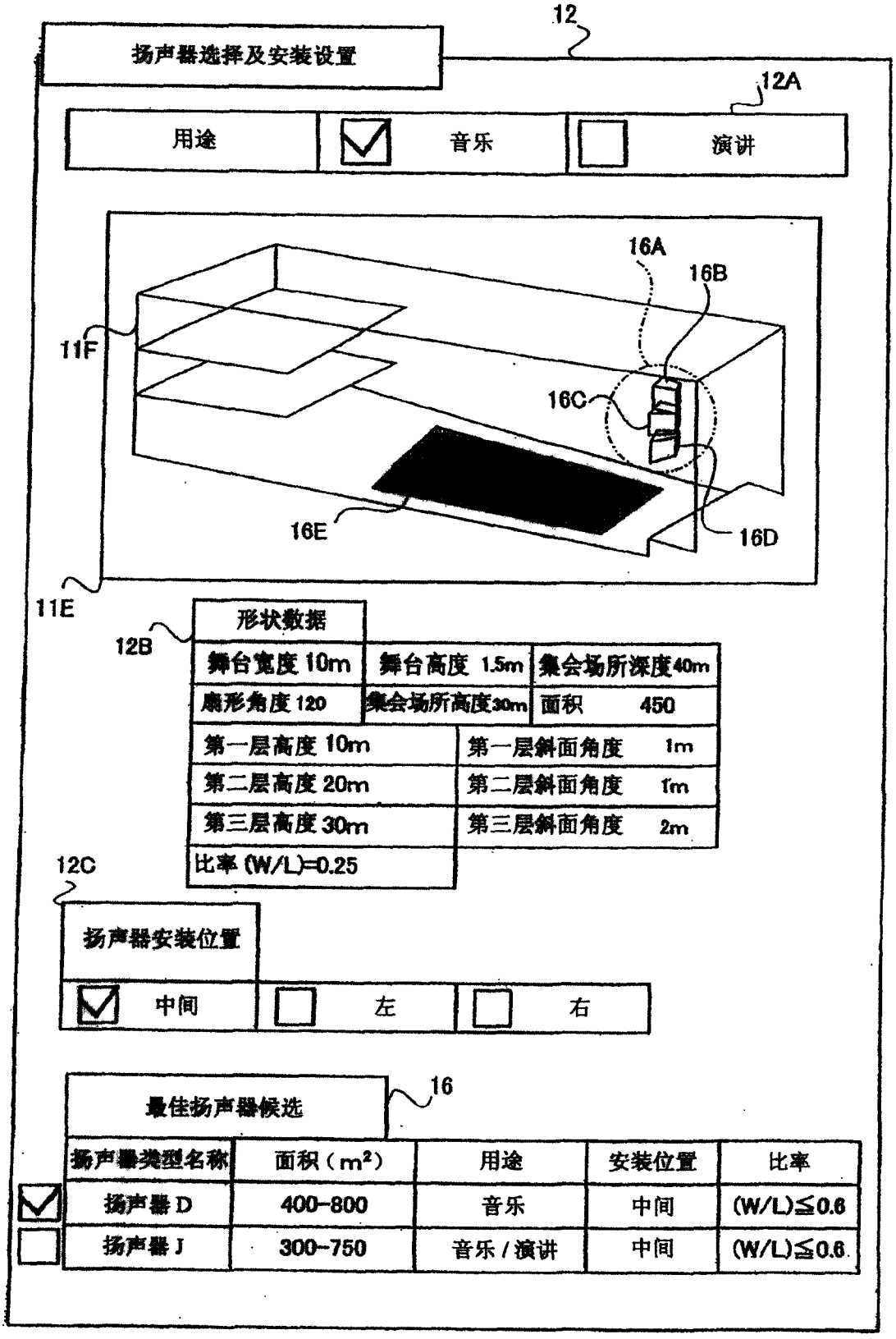
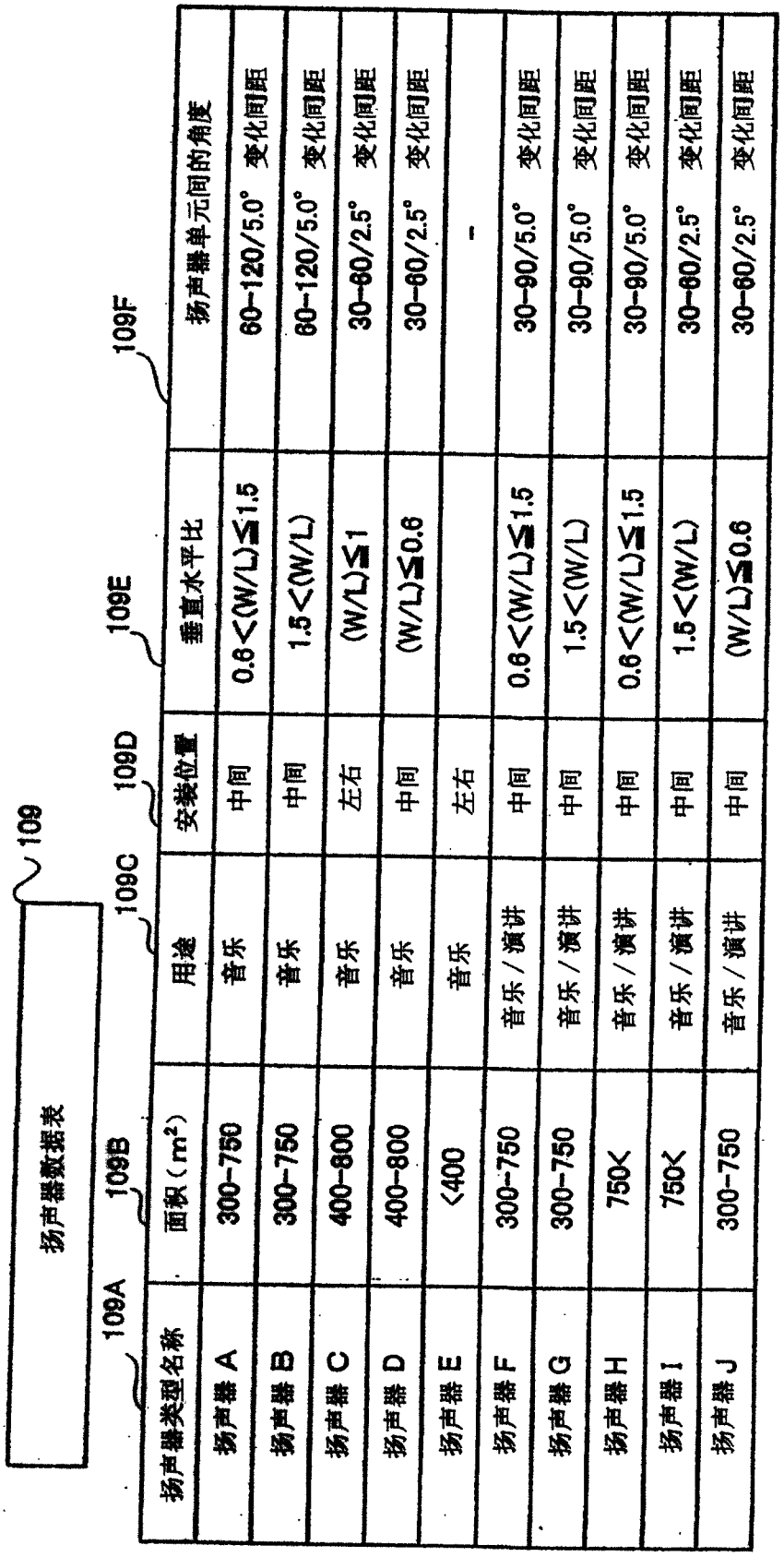

12
扬声器选择及安装设置
12A
用途
音乐
演讲
16A
16B
11F
16C
16E
16D
11E
12B
形状数据
舞台宽度 10m
舞台高度 1.5m
集会场所深度40m
扇形角度 120
集会场所高度30m
面积 450
第一层高度 10m
第一层斜面角度 1m
第二层高度 20m
第二层斜面角度 1m
第三层高度 30m
第三层斜面角度 2m
比率 (W/L)=0.25
12C
扬声器安装位置
中间
左
右
16
最佳扬声器候选
扬声器类型名称
面积（m²）
用途
安装位置
比率
扬声器 D
400-800
音乐
中间
(W/L)≦0.6
扬声器 J
300-750
音乐 / 演讲
中间
(W/L)≦0.6

图 7




| 扬声器类型名称 | 面积（$m^2$） | 用途 | 安装位置 | 垂直水平比 | 扬声器单元间的角度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 扬声器 A | 300-750 | 音乐 | 中间 | 0.6<(W/L)≦1.5 | 60-120/5.0° 变化间距 |
| 扬声器 B | 300-750 | 音乐 | 中间 | 1.5<(W/L) | 60-120/5.0° 变化间距 |
| 扬声器 C | 400-800 | 音乐 | 左右 | (W/L)≦1 | 30-60/2.5° 变化间距 |
| 扬声器 D | 400-800 | 音乐 | 中间 | (W/L)≦0.6 | 30-60/2.5° 变化间距 |
| 扬声器 E | <400 | 音乐 | 左右 | | - |
| 扬声器 F | 300-750 | 音乐 / 演讲 | 中间 | 0.6<(W/L)≦1.5 | 30-90/5.0° 变化间距 |
| 扬声器 G | 300-750 | 音乐 / 演讲 | 中间 | 1.5<(W/L) | 30-90/5.0° 变化间距 |
| 扬声器 H | 750< | 音乐 / 演讲 | 中间 | 0.6<(W/L)≦1.5 | 30-90/5.0° 变化间距 |
| 扬声器 I | 750< | 音乐 / 演讲 | 中间 | 1.5<(W/L) | 30-60/2.5° 变化间距 |
| 扬声器 J | 300-750 | 音乐 / 演讲 | 中间 | (W/L)≦0.6 | 30-60/2.5° 变化间距 |

图 8

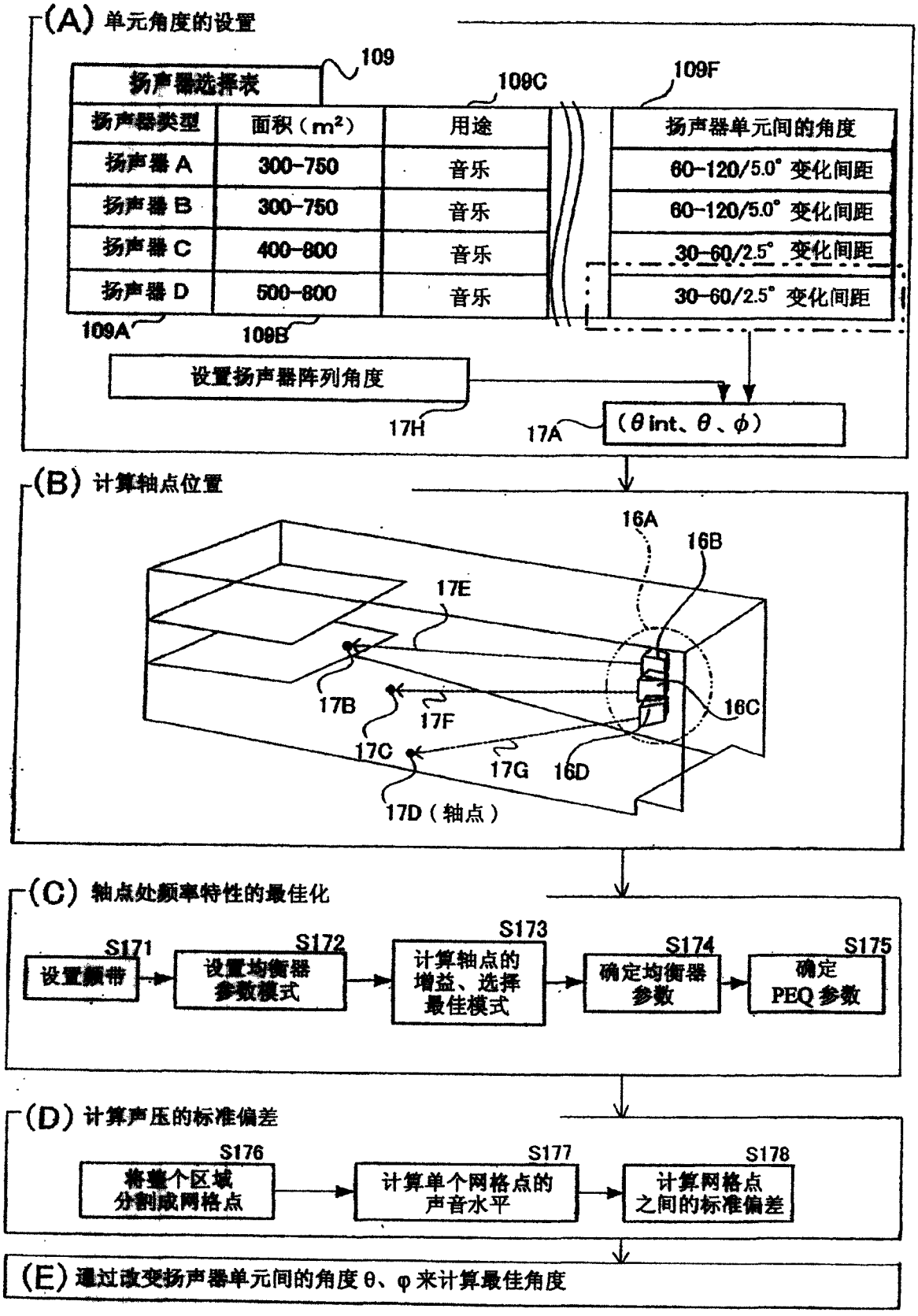

(A) 单元角度的设置
扬声器选择表
109
109C
109F
扬声器类型
面积（m²）
用途
扬声器单元间的角度
扬声器 A
300-750
音乐
60-120/5.0° 变化间距
扬声器 B
300-750
音乐
60-120/5.0° 变化间距
扬声器 C
400-800
音乐
30-60/2.5° 变化间距
扬声器 D
500-800
音乐
30-60/2.5° 变化间距
109A
109B
设置扬声器阵列角度
17H
17A
(θint、θ、φ)
(B) 计算轴点位置
16A
16B
17E
17B
17F
16C
17C
17G
16D
17D（轴点）
(C) 轴点处频率特性的最佳化
S171
设置频带
S172
设置均衡器参数模式
S173
计算轴点的增益、选择最佳模式
S174
确定均衡器参数
S175
确定PEQ参数
(D) 计算声压的标准偏差
S176
将整个区域分割成网格点
S177
计算单个网格点的声音水平
S178
计算网格点之间的标准偏差
(E) 通过改变扬声器单元间的角度θ、φ来计算最佳角度

图 9

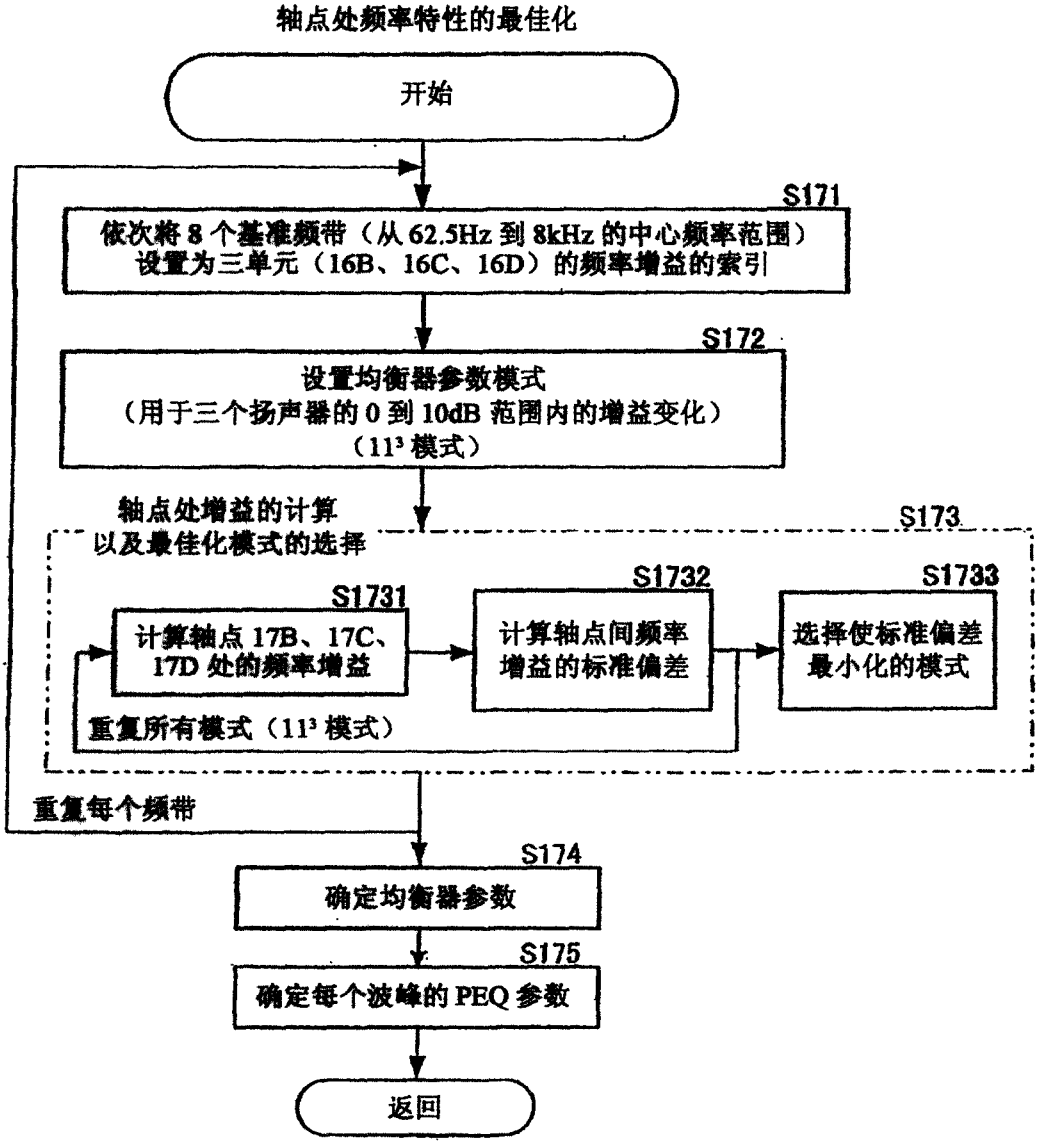

轴点处频率特性的最佳化
开始
S171
依次将 8 个基准频带（从 62.5Hz 到 8kHz 的中心频率范围）设置为三单元（16B、16C、16D）的频率增益的索引
S172
设置均衡器参数模式
（用于三个扬声器的 0 到 10dB 范围内的增益变化）
（11³ 模式）
轴点处增益的计算以及最佳化模式的选择
S173
S1731
计算轴点 17B、17C、17D 处的频率增益
S1732
计算轴点间频率增益的标准偏差
S1733
选择使标准偏差最小化的模式
重复所有模式（11³ 模式）
重复每个频带
S174
确定均衡器参数
S175
确定每个波峰的 PEQ 参数
返回

图 10A

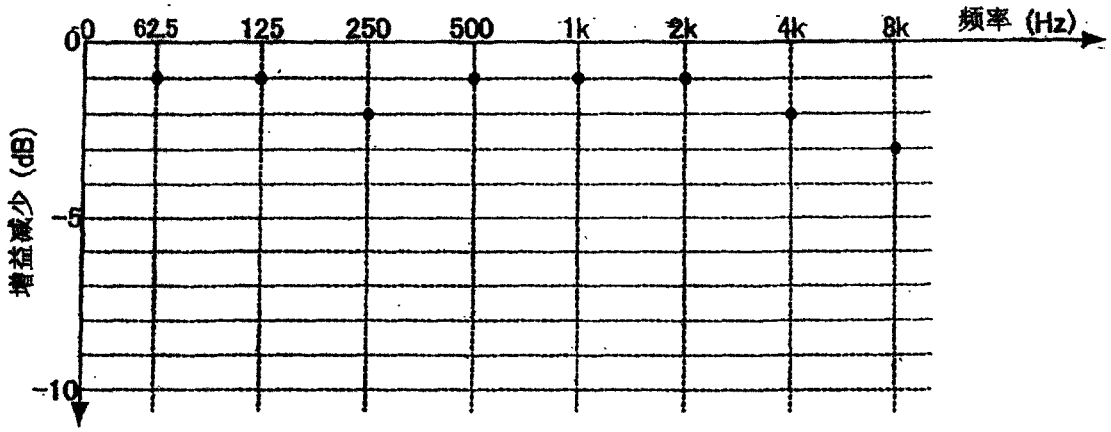

0
62.5
125
250
500
1k
2k
4k
8k
频率 (Hz)
0
-5
-10
增益减少 (dB)

图 10B

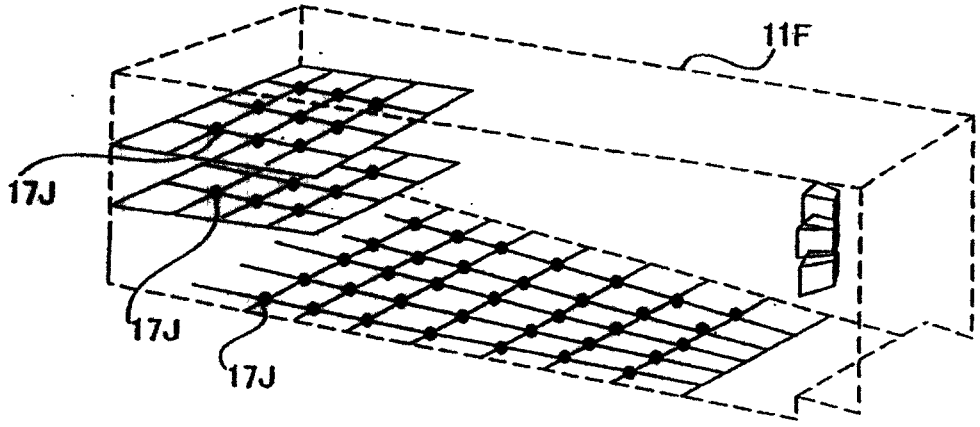



图 11

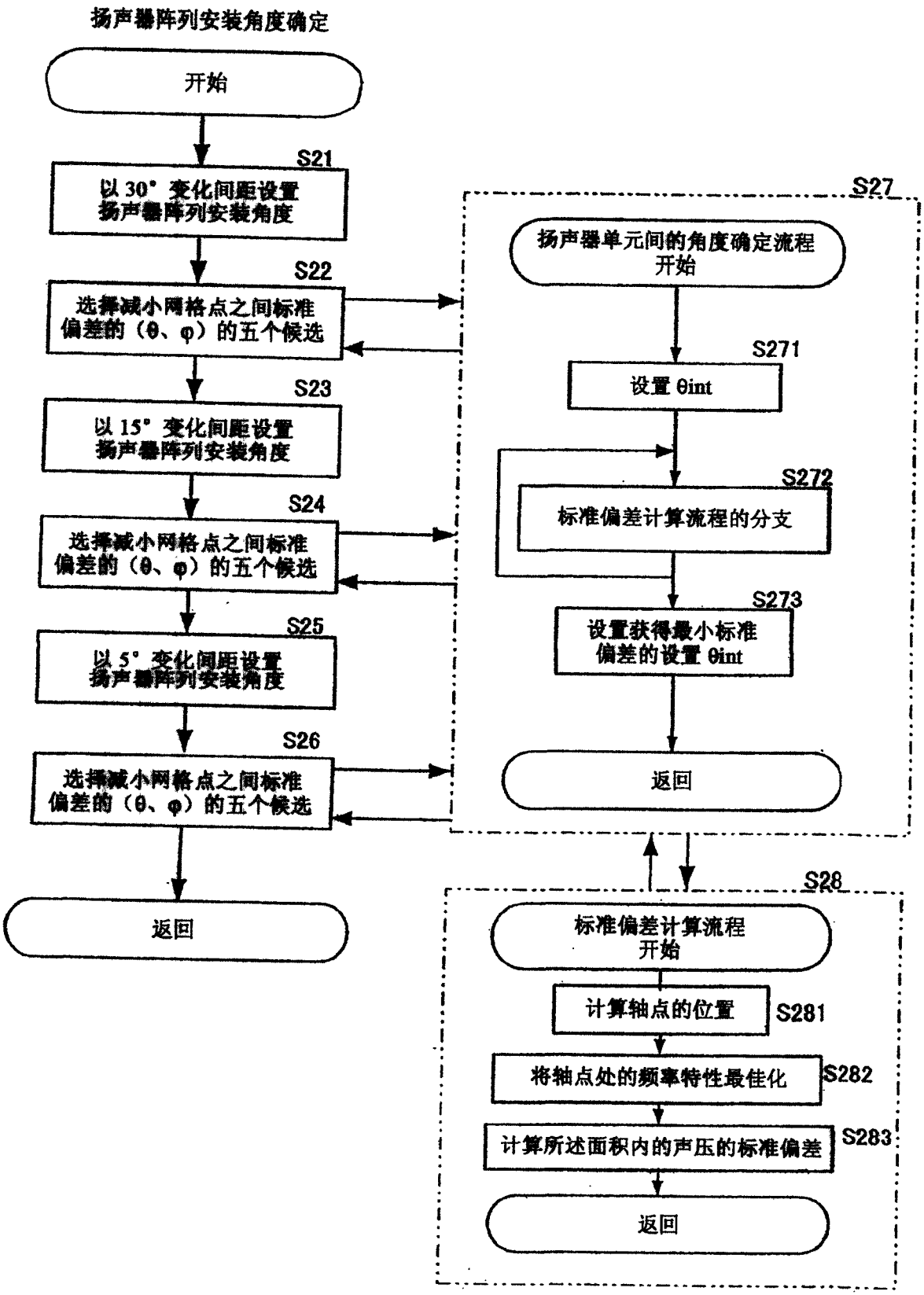

扬声器阵列安装角度确定
开始
S21
以 30° 变化间距设置
扬声器阵列安装角度
S22
选择减小网格点之间标准
偏差的（θ、φ）的五个候选
S23
以 15° 变化间距设置
扬声器阵列安装角度
S24
选择减小网格点之间标准
偏差的（θ、φ）的五个候选
S25
以 5° 变化间距设置
扬声器阵列安装角度
S26
选择减小网格点之间标准
偏差的（θ、φ）的五个候选
返回
S27
扬声器单元间的角度确定流程
开始
S271
设置 θint
S272
标准偏差计算流程的分支
S273
设置获得最小标准
偏差的设置 θint
返回
S28
标准偏差计算流程
开始
计算轴点的位置
S281
将轴点处的频率特性最佳化
S282
计算所述面积内的声压的标准偏差
S283
返回

图 12

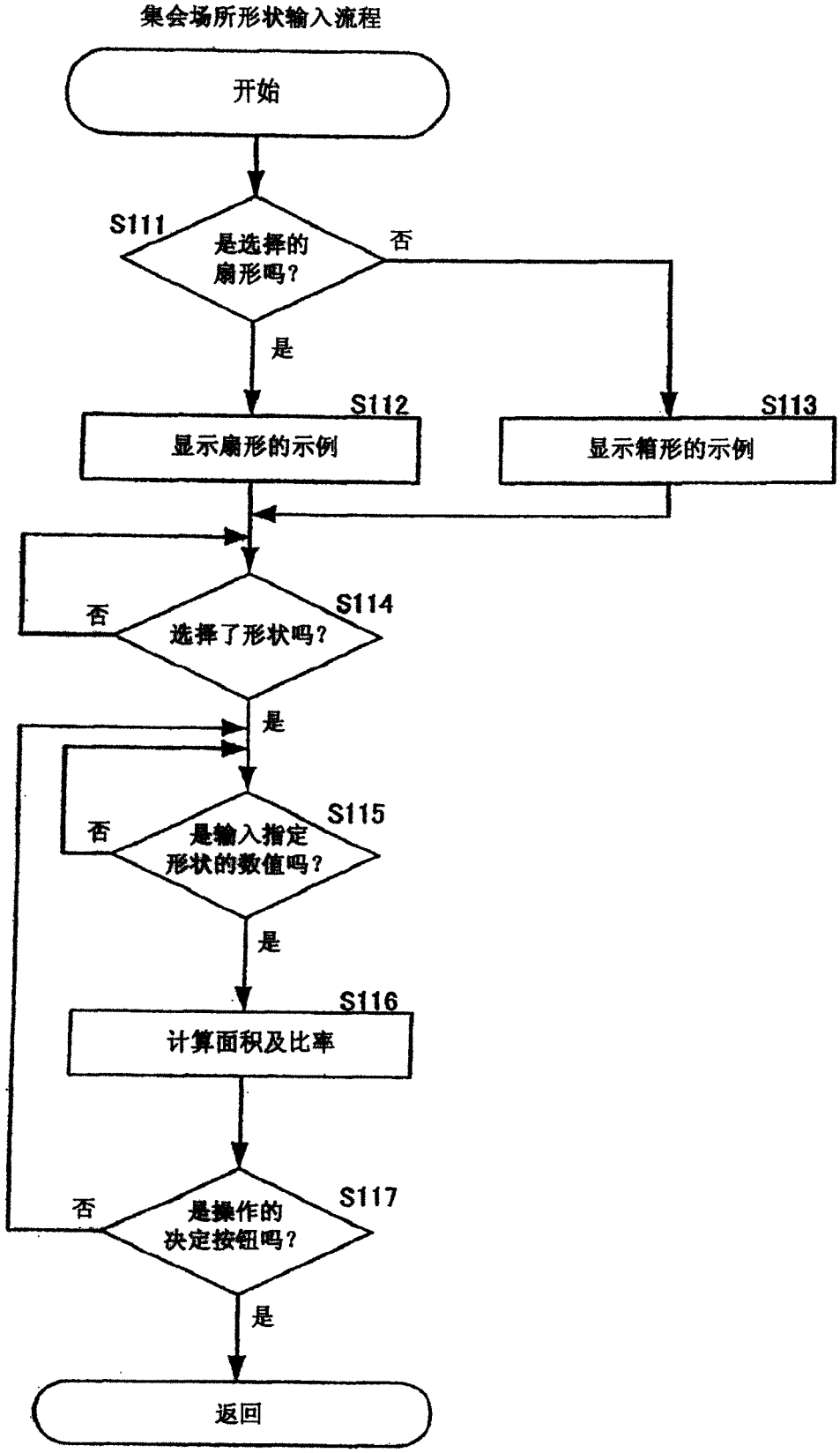

集会场所形状输入流程
开始
S111
是选择的扇形吗?
否
是
S112
显示扇形的示例
S113
显示箱形的示例
否
S114
选择了形状吗?
是
否
S115
是输入指定形状的数值吗?
是
S116
计算面积及比率
否
S117
是操作的决定按钮吗?
是
返回

图 13

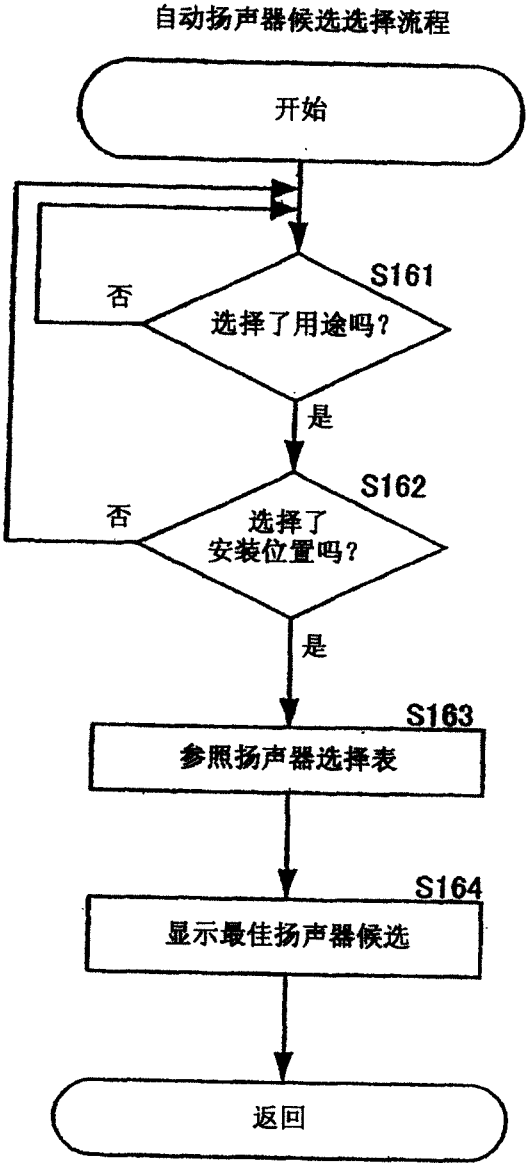

自动扬声器候选选择流程
开始
S161
选择了用途吗?
否
是
S162
选择了
安装位置吗?
否
是
S163
参照扬声器选择表
S164
显示最佳扬声器候选
返回

图 14