



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102907116 B

(45) 授权公告日 2015. 06. 10

(21) 申请号 201180025110. 8

(22) 申请日 2011. 03. 30

(30) 优先权数据

10159914. 0 2010. 04. 14 EP

61/319, 712 2010. 03. 31 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 11. 20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2011/054877 2011. 03. 30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/121004 EN 2011. 10. 06

(73) 专利权人 弗兰霍菲尔运输应用研究公司

地址 德国慕尼黑

(72) 发明人 安德烈亚斯·西尔茨勒

奥利弗·蒂尔加特

乔瓦尼·德尔加尔多 马蒂亚斯·朗

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 余刚 李静

(51) Int. Cl.

H04R 5/04(2006. 01)

H04R 29/00(2006. 01)

H04R 1/40(2006. 01)

H04R 5/027(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 200125085 A, 2001. 01. 26, 说明书第 3 页第 0020 段、第 4 页第 0024 段、第 0027 段, 第 0028 段, 附图 1 和 2.

JP 200125085 A, 2001. 01. 26, 说明书第 3 页第 0020 段、第 4 页第 0024 段、第 0027 段, 第 0028 段, 附图 1 和 2.

CN 101263743 A, 2008. 09. 10, 说明书第 7 页第 5-6 段、第 8 段.

EP 1983799 A1, 2008. 10. 22, 说明书第 5 页第 0034 段.

EP 1544635 A1, 2005. 06. 22, 全文.

EP 1286175 A2, 2003. 02. 26, 全文.

审查员 李萍

权利要求书3页 说明书10页 附图11页

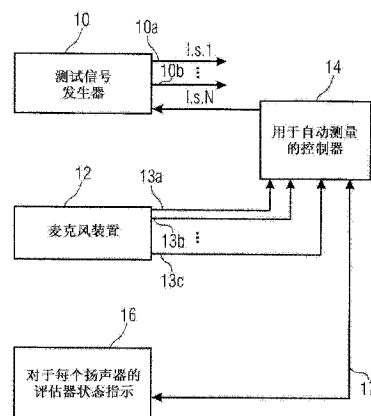
(54) 发明名称

用于测量多个扬声器和麦克风阵列的设备和
方法

(57) 摘要

一种用于测量布置在不同位置处的多个扬声器的设备, 包括: 测试信号发生器(10), 用于产生用于扬声器的测试信号; 麦克风装置(12), 构成用于响应于由多个扬声器中的一个扬声器响应于测试信号发射的一个或多个扬声器信号而接收多个不同的声音信号; 控制器(14), 用于控制通过多个扬声器的扬声器信号的发射并用于处理多个不同的声音信号, 从而响应于测试信号使通过麦克风装置记录的一组声音信号与多个扬声器中的每个扬声器相关联; 以及评估器(16), 用于评估对于每个扬声器的一组声音信号以确定对于每个扬声器的至少一个扬声器特性并用于使用对于扬声器的至少一个扬声器特性指示扬声器状态。该方案允许布置在三维构造中的扬声器的自动

的、有效的且精确的测量。



1. 用于测量布置在不同位置处的多个扬声器的设备,包括:

测试信号发生器 (10),用于产生用于扬声器的测试信号;

麦克风装置 (12),构造成用于响应于由所述多个扬声器中的一个扬声器响应于所述测试信号发射的一个或多个扬声器信号而接收多个不同的声音信号;

控制器 (14),用于控制通过所述多个扬声器的所述扬声器信号的发射并用于处理所述多个不同的声音信号,从而响应于所述测试信号使通过所述麦克风装置记录的一组声音信号与所述多个扬声器中的每个扬声器相关联;以及

评估器 (16),用于评估对于每个扬声器的所述一组声音信号以确定对于每个扬声器的至少一个扬声器特性并用于使用对于所述扬声器的所述至少一个扬声器特性指示扬声器状态;

其中,所述麦克风装置包括麦克风阵列,所述麦克风阵列包括布置在三个空间轴上的三对麦克风;

其中,全向声压信号通过使用由所述三对麦克风接收的信号或者使用布置在所述三个空间轴彼此相交的点处的另一麦克风由所述评估器获得;

其中,所述评估器 (16) 构造成用于

使用所述全向声压信号计算所述麦克风阵列与扬声器之间的距离,其中,所述全向声压信号在样本中具有第一长度,所述第一长度延伸至所述全向声压信号的最大值;

使用来自所述三对麦克风的各个麦克风的麦克风信号计算所述扬声器的脉冲响应或传递函数,所述麦克风信号在样本中具有第三长度,所述第三长度至少具有直达声最大值和前期反射,所述第三长度比所述第一长度长;以及

使用来自所有麦克风的信号计算来自所述扬声器的所述声音的到达方向,所述信号在样本中具有第二长度,所述第二长度比所述第一长度长且比所述第三长度短,所述第二长度包括直至前期反射的值,从而所述前期反射没有包括在所述第二长度中或者在由窗函数的侧部确定的衰减状态中所述前期反射包括在所述第二长度中。

2. 根据权利要求 1 所述的设备,其中,所述控制器 (14) 构造成用于自动控制所述测试信号发生器 (10) 以顺序的方式产生所述测试信号并用于自动控制所述麦克风装置 (12) 以顺序的方式接收所述声音信号,从而使所述一组声音信号与特定的扬声器相关联,所述特定的扬声器在接收所述一组声音信号之前已立即发射所述扬声器测试信号,或者

其中,所述控制器 (14) 构造成用于自动控制所述测试信号发生器 (10) 以并行的方式产生所述测试信号并用于自动控制所述麦克风装置 (12) 对所述声音信号进行多路分用,从而使所述一组声音信号与特定的扬声器相关联,所述特定的扬声器与所述一组声音信号的确定频带相关联,或者所述特定的扬声器与代码多路复用的测试信号中的确定代码序列相关联。

3. 根据权利要求 1 所述的设备,其中,所述评估器 (16) 构造成用于通过使用声音信号的脉冲响应的最大值在所述扬声器与所述麦克风装置之间的延时值并通过使用空气中的声速来计算对于扬声器的扬声器位置与所述麦克风装置之间的距离。

4. 根据权利要求 1 所述的设备,其中,所述控制器 (14) 构造成用于使用测试信号 (70) 执行参考测量,其中,数 / 模转换器 (51) 对扬声器的模拟输出和与所述麦克风装置连接的模 / 数转换器 (52) 的模拟输入直接相连以确定参考测量数据;并且

其中,所述评估器(16)构造成使用所述参考测量数据来确定对于多个麦克风中的所选的麦克风的传递函数或脉冲响应,以确定作为所述扬声器特性的对于所述扬声器的脉冲响应或传递函数。

5. 根据权利要求1所述的设备,

其中,所述评估器(16)构造成用于使用所述一组声音信号来计算对于由扬声器发射的声音的到达方向,其中,所述评估器适于

将所述一组测试信号转换(40)成B格式信号,所述B格式信号具有全向信号(W)和对于空间中的至少两个正交方向的至少两个质点速度信号(X、Y、Z);

计算对于多个频率窗口中的每个频率窗口的到达方向结果;以及

使用对于所述多个频率窗口的所述到达方向结果来确定(46、47)对于由所述扬声器发射的所述声音的到达方向。

6. 根据权利要求5所述的设备,其中,所述评估器(16)构造成用于计算对于每个麦克风的脉冲响应,

用于搜索每个脉冲响应中的最大值;

用于对每个脉冲响应或与所述脉冲响应不同的麦克风信号施加窗,其中,所述窗的中心或所述窗的处于围绕所述窗的所述中心集中的窗长的50%内的点设置在每个脉冲响应中的所述最大值处或者设置在所述麦克风信号中的对应于所述最大值的时间处,以获得对于每个声音信号的加窗帧;以及

用于将每个帧从时域转换至谱域。

7. 根据权利要求5所述的设备,其中,所述评估器(16)构造成用于通过计算对于每个仰角且对于每个方位角具有一个值的真实空间功率密度来确定所述到达方向,以及

用于针对不同的仰角和方位角提供呈现零平均值白高斯麦克风噪声的多个空间功率密度,以及

选择(47)属于所述空间功率密度的所述仰角和所述方位角,所述空间功率密度最符合所述真实空间功率密度。

8. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述评估器构造成用于将所述至少一个扬声器特性与期望的扬声器特性相比较,并指示具有等于所述期望的扬声器特性的所述至少一个扬声器特性的扬声器为起作用的扬声器,且指示不具有等于所述期望的扬声器特性的所述至少一个扬声器特性的扬声器为不起作用的扬声器。

9. 测量布置在听音空间中的不同位置处的多个扬声器的方法,包括:

产生(10)用于扬声器的测试信号;

响应于由所述多个扬声器中的一个扬声器响应于所述测试信号发射的一个或多个扬声器信号通过麦克风装置接收多个不同的声音信号;

控制(14)通过所述多个扬声器的所述扬声器信号的发射并处理所述多个不同的声音信号,从而响应于所述测试信号使由所述麦克风装置记录的一组声音信号与所述多个扬声器中的每个扬声器相关联;以及

评估(16)对于每个扬声器的所述一组声音信号以确定对于每个扬声器的至少一个扬声器特性并使用对于所述扬声器的所述至少一个扬声器特性指示扬声器状态;

其中,所述麦克风装置包括麦克风阵列,所述麦克风阵列包括布置在三个空间轴上的

三对麦克风；

其中，全向声压信号通过使用由所述三对麦克风接收的信号或者使用布置在所述三个空间轴彼此相交的点处的另一麦克风由所述评估获得；

其中，所述评估 (16) 包括：

使用所述全向声压信号计算所述麦克风阵列与扬声器之间的距离，其中，所述全向声压信号在样本中具有第一长度，所述第一长度延伸至所述全向声压信号的最大值；

使用来自所述三对麦克风的各个麦克风的麦克风信号计算所述扬声器的脉冲响应或传递函数，所述麦克风信号在样本中具有第三长度，所述第三长度至少具有直达声最大值和前期反射，所述第三长度比所述第一长度长；以及

使用来自所有麦克风的信号计算来自所述扬声器的所述声音的到达方向，所述信号在样本中具有第二长度，所述第二长度比所述第一长度长且比所述第三长度短，所述第二长度包括直至前期反射的值，从而所述前期反射没有包括在所述第二长度中或者在由窗函数的侧部确定的衰减状态中所述前期反射包括在所述第二长度中。

用于测量多个扬声器和麦克风阵列的设备和方法

[0001] 说明

[0002] 本发明涉及用于布置在听音区域(listening area)中的不同位置处的扬声器的声学测量,并且特别地,涉及一种以三维构造布置在听音区域中的大量扬声器的有效测量。

[0003] 图2示出了位于德国埃尔兰根的弗劳恩霍夫集成电路研究所的听音室。为了执行听音测试,该听音室是必需的。为了评估音频编码方案,这些听音测试是必需的。为了确保听音测试的可供比较的且可重复的结果,在标准化的听音室(诸如在图2中示出的听音室)中执行这些测试是必需的。该听音室遵循建议ITU-R BS 1116-1。在该室中,大量的54个扬声器安装成三维扬声器结构。扬声器安装在从天花板悬挂下来的双层圆形桁架上并安装在墙壁上的轨道系统上。大量的扬声器提供了良好的灵活性,这对于学术研究和学习当前的和未来的声音格式来说都是必需的。

[0004] 对于这种大量的扬声器,检验它们在正确地工作以及它们适当地连接是一项乏味的且麻烦的任务。典型地,每个扬声器在扬声器箱体中具有单独的设置。此外,存在音频矩阵,这允许将特定的音频信号切换至特定的扬声器。此外,不能保证除固定地附设于特定支撑架的扬声器之外的所有扬声器都处于它们的正确位置。特别地,在图2中立在地板上的扬声器可以前后左右移动,并且因此,在听音测试开始时,不能保证,所有扬声器都处于它们应该在的位置,所有扬声器都具有它们单独的与它们应该具有的一样的设置,以及音频矩阵被设置成特定的状态以将扬声器信号正确地分配至扬声器。除了这种听音室被多个研究组使用的事实之外,有时可能出现电的或机械的故障。

[0005] 特别地,可能出现以下示例性的问题。这些问题是:

[0006] ● 扬声器未接通或者未连接

[0007] ● 信号发送至错误的扬声器,信号电缆连接至错误的扬声器

[0008] ● 错误地调节音频路径选择系统中或扬声器处的一个扬声器的级别

[0009] ● 错误地设置音频路径选择系统中或扬声器处的补偿器

[0010] ● 多路扬声器中的单个驱动器的损坏

[0011] ● 错误地放置、定向扬声器或者物体阻挡了声音路径。

[0012] 通常,为了人工地评估设置在听音区域中的扬声器的功能,大量的时间是必需的。需要该时间来人工地检验每个扬声器的位置和定向。此外,必须人工地检查每个扬声器以找出正确的扬声器设置。一方面为了检验信号通路的电功能,另一方面为了检验各个扬声器的电功能,需要一个有着丰富经验的人来执行听音测试,其中,典型地,用测试信号激励每个扬声器,并且然后富有经验的听者基于它的知识来评估该扬声器是否是正确的。

[0013] 显然,由于需要有着丰富经验的人的事实,此过程是昂贵的。此外,由于所有扬声器的检查将典型地显示大部分、或者甚至所有的扬声器都正确地定向并正确地设定的事实,此过程是单调乏味的,但是另一方面,不能省去此过程,因为未发现的一个或几个误差可能破坏听音测试的意义。最后,虽然富有经验的人进行了听音室的功能分析,然而没有排除误差。

[0014] 本发明的一个目的是提供一种改进的用于检验布置在听音区域中的不同位置处

的多个扬声器的功能的过程。

[0015] 该目的通过根据权利要求 1 的用于测量多个扬声器的设备、根据权利要求 11 的测量多个扬声器的方法、根据权利要求 12 的计算机程序或者根据权利要求 13 的麦克风阵列来实现。

[0016] 本发明基于这样的发现：可以通过使用电设备来改变对布置在听音空间中的扬声器的功能的检验而极大地改善听音测试的效率和精度。该设备包括：测试信号发生器，用于产生用于扬声器的测试信号；麦克风装置，用于获得多个单独的麦克风信号；控制器，用于控制扬声器信号的发射和由麦克风装置记录的声音信号的处理，使得通过麦克风装置记录的一组声音信号与每个扬声器相关联；以及评估器，用于评估用于每个扬声器的该组声音信号以确定对于每个扬声器的至少一个扬声器特性并用于使用该至少一个扬声器特性来指示扬声器状态。

[0017] 本发明是有利的，因为它允许由未经训练的人执行对定位在听音空间中的扬声器的检验，因为评估器将指示好 / 没好状态，并且未经训练的人可以单独地检查没好的扬声器并且可以信任已被指示为处于功能状态中的扬声器。

[0018] 此外，本发明提供了良好的灵活性，因为此外可以使用并计算单独地选择的扬声器特性以及优选地多个扬声器特性，使得可以聚集用于各个扬声器的扬声器状态的完整图像。这通过为每个扬声器优选地以顺序的方式提供测试信号并通过优选地使用麦克风阵列记录扬声器信号而完成。因此，可以计算信号的到达方向，使得即使当扬声器以三维方案布置时也可以以自动的方式计算房间中的扬声器的位置。特别地，典型地鉴于由优选的独创性系统提供的高精度，即使由富有经验的人也不能实现后一特征。

[0019] 在优选的实施例中，多扬声器测试系统可以在对于仰角和方位角的 $\pm 3^\circ$ 的容限范围内精确地确定位置。距离精度是 $\pm 4\text{cm}$ ，并且每个扬声器的幅值响应可以以听音室中的每个单独的扬声器的 $\pm 1\text{dB}$ 的精度来记录。优选地，该系统将每个测量结果与基准相比较并且因此可以识别在容限之外工作的扬声器。

[0020] 此外，由于合理的测量时间，其低至每个扬声器 10s，包括处理，即使当必须测量大量的扬声器时，本发明的系统也是可应用的。此外，扬声器的定向不限于任何特定的构造，而是测量构思可应用于任意三维方案中的每个和所有扬声器装置。

[0021] 随后将参考附图说明本发明的优选实施例，其中：

[0022] 图 1 示出了用于测量多个扬声器的设备的框图；

[0023] 图 2 示出了在墙壁上设置有 9 个主扬声器、2 个子低频扬声器和 43 个扬声器并具有处于不同高度上的两个圆形桁架的示例性听音测试室；

[0024] 图 3 示出了三维麦克风阵列的优选实施例；

[0025] 图 4a 示出了用于示出使用狄拉克 (DirAC) 过程确定声音到达的方向的步骤的示意图；

[0026] 图 4b 示出了用于使用来自图 3 中的麦克风阵列的麦克风计算不同方向上的质点速度信号的方程式；

[0027] 图 4c 示出了当不存在中心麦克风时所执行的用于 B 格式的全向声音信号的计算；

[0028] 图 4d 示出了用于执行三维定位算法的步骤；

- [0029] 图 4e 示出了用于扬声器的真实空间功率密度；
- [0030] 图 5 示出了扬声器和麦克风的硬件设置的示意图；
- [0031] 图 6a 示出了用于参考的测量顺序；
- [0032] 图 6b 示出了用于测试的测量顺序；
- [0033] 图 6c 示出了幅值响应形式的示例性测量输出，其中在特定的频率范围内没有达到容限；
- [0034] 图 7 示出了用于确定多个扬声器特性的优选实施方式；
- [0035] 图 8 示出了用于执行到达方向确定的示例性脉冲响应和窗长(window length)；以及
- [0036] 图 9 示出了用于测量距离、到达方向和扬声器的脉冲响应 / 传递函数所需的脉冲响应的部分的长度的关系。
- [0037] 图 1 示出了用于测量布置在听音空间中的不同位置处的多个扬声器的设备。该设备包括测试信号发生器 10，以用于产生用于扬声器的测试信号。示例性地，N 个扬声器在扬声器输出 10a, ..., 10b 处连接至测试信号发生器。
- [0038] 该设备此外包括麦克风装置 12。麦克风装置 12 可以实施为具有多个单独麦克风的麦克风阵列，或者可以实施为这样的麦克风：该麦克风可以在不同的位置之间顺序地移动，其中测量扬声器对顺序地施加的测试信号的顺序响应，因为麦克风装置构造成用于响应于由多个扬声器中的一个扬声器响应于一个或多个测试信号发射的一个或多个扬声器信号而接收声音信号。
- [0039] 此外，提供控制器 14，以用于控制通过多个扬声器的扬声器信号的发射并用于处理由麦克风装置接收的声音信号，使得响应于一个或多个测试信号由麦克风装置记录的一组声音信号与多个扬声器中的每个扬声器相关联。控制器 14 通过信号线 13a、13b、13c 连接至麦克风装置。当麦克风装置仅具有可以以顺序的方式移动至不同位置的单个麦克风时，单根线 13a 将是足够的。
- [0040] 用于测量的设备此外包括评估器(evaluator) 16，以用于评估对于每个扬声器的一组声音信号以确定对于每个扬声器的至少一个扬声器特性并用于使用该至少一个扬声器特性指示扬声器状态。评估器通过连接线 17 连接至控制器，该连接线可以是双向连接。因此，评估器为每个扬声器提供了状态指示，即，该扬声器是起作用的扬声器还是故障的扬声器。
- [0041] 优选地，控制器 14 构造成用于执行自动测量，在该自动测量中对于每个扬声器应用特定的顺序。具体地，控制器控制测试信号发生器输出测试信号。同时，当开始测量周期时，控制器记录由麦克风装置和连接至麦克风装置的电路获得的信号。当完成扬声器测试信号的测量时，声音信号由每个麦克风接收且然后由控制器处理并例如由与特定的扬声器相关联的控制器存储，该特定的扬声器已发射测试信号，或者，更准确地，已发射表示装置处于测试中的信号。如上所述，要检验的是，已接收测试信号的特定扬声器是否事实上是最终已发射对应于测试信号的声音信号的实际扬声器。这通过优选地使用定向麦克风阵列计算由扬声器响应于测试信号发射的声音的距离或到达方向来检验。
- [0042] 可替代地，控制器可以同时执行多个或所有扬声器的测量。为此目的，测试信号发

生器构造成用于产生用于不同扬声器的不同测试信号。优选地,测试信号至少部分地彼此相互正交。该正交状态可以包括频率复用中的不同非重叠频带或者代码复用中的不同代码或者其他这样的实施方式。评估器构造成用于分离用于不同扬声器的不同测试信号,诸如与特定的时间空档与特定的扬声器相关联的顺序实施类似,通过使特定的频带与特定的扬声器相关联或者使特定的代码与特定的扬声器相关联而分离。

[0043] 因此,控制器自动控制测试信号发生器并处理由麦克风装置获得的信号,以例如以顺序的方式产生测试信号并以顺序的方式接收声音信号,使得该组声音信号与特定的扬声器相关联,该特定的扬声器已在通过麦克风阵列接收该组声音信号之前立即发射扬声器测试信号。

[0044] 包括音频路径选择系统、扬声器、数/模转换器、模/数转换器以及三维麦克风阵列的完整系统的示意图在图 5 中呈现。具体地,图 5 示出了音频路径选择系统 50、用于将测试信号输入数/模转换到扬声器中的数/模转换器,其中数/模转换器在 51 处指出。此外,提供模/数转换器 52,该模/数转换器连接至布置在三维麦克风阵列 12 处的各个麦克风的模拟输出。各个扬声器在 54a, ..., 54b 处指出。系统可以包括遥控器 55,该遥控器具有用于控制音频路径选择系统 50 和用于测量系统的所连接的计算机 56 的功能。将该优选实施例中的各个连接表示在图 5 中,其中“MADI”代表多通道音频/数字接口,以及“ADAT”代表数位式录音带(Alesis-digital-audio-tape)(光缆格式)。其他缩略语对于本领域技术人员是已知的。图 1 的测试信号发生器 10、控制器 14 和评估器 16 优选地包括在图 5 的计算机 56 中或者也可以包括在图 5 中的遥控处理器 55 中。

[0045] 优选地,测量构思在计算机上执行,该计算机通常通向扬声器和控制器。因此,测量从计算机经过音频路径选择系统、扬声器直至听音位置处的麦克风装置的整个电和声信号处理链。这是优选的,以捕获可以出现在这种信号处理链中的所有可能误差。从数/模转换器 51 至模/数转换器 52 的单个连接 57 用于测量扬声器和麦克风装置之间的声延迟,并可以用于为图 1 的评估器 16 提供在图 7 中示出的参考信号 X,使得可以通过如本领域中已知的卷积计算从所选的扬声器至每个麦克风的传递函数或者、可替代地、脉冲响应。具体地,图 7 示出了由在图 1 中示出的设备执行的步骤 70,其中测量麦克风信号 Y,并且测量参考信号 X,这通过使用图 5 中的短路连接 57 完成。随后,在步骤 71 中,可以在频域中通过频域值的分割计算传递函数 H 或者可以在时域中使用卷积计算脉冲响应 $h(t)$ 。传递函数 $H(f)$ 已经是扬声器特性,但是还可以计算如在图 7 中示意性地示出的其他扬声器特性。这些其他特性是例如时域脉冲响应 $h(t)$,该时域脉冲响应可以通过执行传递函数的反快速傅里叶变换(FFT)计算。可替代地,还可以计算幅值响应,该幅值响应是复传递函数的幅值。此外,可以计算作为频率的函数的相位或者群时延(group delay) τ ,该群时延是相位相对于频率的一阶导数。不同的扬声器特性是能量时间曲线等等,该能量时间曲线指出了脉冲响应的能量分布。一个另外的重要特性是扬声器和麦克风之间的距离,并且麦克风处的声音信号的到达方向是一个另外的重要扬声器特性,其使用狄拉克(DirAC)算法计算,如稍后将讨论的。

[0046] 图 1 系统呈现了自动多扬声器测试系统,该自动多扬声器测试系统通过测量每个扬声器的位置和幅值响应来检验上述各种问题的出现。所有这些误差可通过由图 1 的评估器 16 执行的后处理步骤来检测。为此目的,优选的是,评估器计算来自麦克风信号的室脉

冲响应,该麦克风信号已使用来自在图 3 中示出的三维麦克风阵列的每个单独的声压式麦克风(pressure microphone)记录。

[0047] 优选地,将单个对数正弦扫描用作测试信号,其中该测试信号由处于测试中的每个扬声器单独地播放。该对数正弦扫描由图 1 的测试信号发生器 10 产生,并且优选地对于每个被允许的扬声器是相等的。使用该单个测试信号来检查所有误差是特别有利的,因为它将总测试时间显著地缩短至每个扬声器约 10s,包括处理。

[0048] 优选地,脉冲响应测量形成为如在图 7 的上下文中讨论的,其中将对数正弦扫描用作测试信号是最佳的,因为在实际声学测量中关注于良好的信噪比,并且为了低频、在高频中没有太多能量(没有高频扬声器破坏信号)、良好的波峰因素和关于小的非线性的非临界性能。

[0049] 可替代地,也可以使用最大长度序列(MLS),但是因为波峰因素和抗非线性的性能,对数正弦扫描是优选的。此外,大量高频中的能量可能损坏扬声器,对于对数正弦扫描,这也是一个优点,因为该信号在高频中具有较少的能量。

[0050] 随后将讨论图 4a 至图 4e 以示出到达方向估计的优选实施方式,虽然还可以使用除了狄拉克(DirAC)之外的其他到达方向算法。图 4a 示意性地示出了具有 7 个麦克风的麦克风阵列 12、处理模块 40 和狄拉克(DirAC)模块 42。特别地,模块 40 执行每个麦克风信号的短时傅里叶分析,并且随后执行将优选地这些 7 个麦克风信号转换成 B 格式,该 B 格式具有全向信号 W 并具有彼此正交的用于三个空间方向 X、Y、Z 的三个单独的质点速度信号 X、Y、Z。

[0051] 定向音频编码是一种有效的用于在降混信号(downmix signal)和边信息(side information)(即到达方向(DOA)和声场的扩散)的基础上捕获并再现空间声音的技术。狄拉克(DirAC)在离散的短时傅里叶变换(STFT)域中起作用,这提供信号的时变谱表示。图 4a 示出了用于使用狄拉克(DirAC)分析获得到达方向(DOA)的主要步骤。通常,狄拉克(DirAC)要求将 B 格式信号作为输入,该信号包括在空间中的一个点处测量的声压和质点速度矢量。从该信息计算有效强度矢量(active intensity vector)是可能的。该矢量描述了表征测量位置中的声场特性的能量的净流量的方向和大小。通过取它的方向的反向,从强度矢量获得声音的到达方向(DOA),并且例如通过标准球坐标系统中的方位角和仰角表示。自然,还可以应用其他坐标系统。使用在图 3 中示出的包括 7 个麦克风的三维麦克风阵列获得所需的 B 格式信号。通过图 3 中的中心麦克风 R7 捕获用于狄拉克(DirAC)处理的声压信号,而从沿着三个笛卡尔轴的相对传感器之间的声压差估计质点速度矢量的分量。具体地,图 4b 示出了用于计算具有三个分量 U_x 、 U_y 和 U_z 的声音速度矢量 $U(k, n)$ 的方程式。

[0052] 示例性地,变量 P_1 表示图 3 的麦克风 R1 的声压信号,并且,例如, P_3 表示图 3 中的麦克风 R3 的声压信号。类似地,图 4b 中的其他指标对应于图 3 中的对应标号。K 表示频率指标,并且 n 表示时间段(time block)指标。所有的量在空间中的相同的点处测量。质点速度矢量沿着两个以上的维度测量。对于 B 格式信号的声压 $P(k, n)$,使用中心麦克风 R7 的输出。可替代地,如果没有中心麦克风可用,可以通过组合可用传感器的输出来估计 $P(k, n)$,如在图 4c 中示出的。应注意的是,相同的方程式也适用二维和一维的情形。在这些情形中,图 4b 中的速度分量仅针对所考虑的维度而计算。另外应注意的是,B 格式信号可

以在时域中以完全相同的方式计算。在这种情况下,所有频域信号被对应的时域信号替代。使用麦克风阵列确定 B 格式信号的另一种可能性是使用定向传感器来获得质点速度分量。实际上,每个质点速度分量可以直接使用双向麦克风(所谓的 8 字形麦克风)来测量。在这种情况下,图 3 中的每对相对的传感器被沿着所考虑的轴指向的双向传感器替代。双向传感器的输出直接对应于期望的速度分量。

[0053] 图 4d 示出了用于一方面以方位角的形式且另一方面以仰角的形式执行到达方向(DOA)的步骤的顺序。在第一步骤中,在步骤 43 中执行脉冲响应测量,以用于计算对于每个麦克风的脉冲响应。然后执行每个脉冲响应的最大值处的加窗(windowing),如在图 8 中示例性地示出的,其中最大值在 80 处指出。然后在图 4d 的模块 45 处将加窗后的样本转变到频域中。在频域中,执行狄拉克(DirAC)算法,以用于计算例如 20 个频率窗口(frequency bin)或者甚至更多个频率窗口中的每个频率窗口中的到达方向(DOA)。优选地,仅执行例如仅 512 个样本的短窗长,如在图 8 中的 FFT 512 处示出的,使得仅使用最大值 80 处的直达声,直至前期反射、但是优选地排除该前期反射。该过程提供了良好的到达方向(DOA)结果,因为仅使用了没有任何混响(reverberation)的来自各个位置的声音。

[0054] 如在 46 处指出的,然后计算所谓的空间功率密度(SPD),对于每个所确定的到达方向(DOA),其表示测得的声音能量。

[0055] 图 4e 示出了当仰角和方位角等于 0° 时对于扬声器位置的测得的空间功率密度(SPD)。该空间功率密度(SPD)示出了大部分测得的能量集中在对应于扬声器位置的角度周围。在理想情形中,即,其中没有麦克风噪声存在,为了获得扬声器位置确定空间功率密度的最大值将是足够的。但是,在实际应用中,由于测量的不精确,空间功率密度(SPD)的最大值并非一定对应于正确的扬声器位置。因此,对于每个到达方向(DOA),模拟呈现零平均值白高斯麦克风噪声的理论空间功率密度(SPD)。通过理论空间功率密度(SPD)和测得的空间功率密度(SPD)(在图 4e 中示意性地示出)相比较,确定最相配的理论空间功率密度(SPD),其对应的到达方向(DOA)于是表示最可能的扬声器位置。

[0056] 优选地,在无混响环境中,通过对于具有特定方位角/仰角的时间/频率窗口的降混音频信号功率来计算空间功率密度(SPD)。当在混响环境中执行该过程时或者当还使用前期反射时,从对于时间/频率窗口的降混音频信号功率来计算长期空间功率密度,对此,由狄拉克(DirAC)算法获得的扩散低于特定的阈值。该过程详细地描述在 O. Thiergart 等人的 2009 年 10 月 9 日的美国音频工程协会(AES)会议论文 7853 “基于定向音频编码参数的声源在混响环境中的定位(Localization of Sound Sources in Reverberant Environments based on Directional Audio Coding Parameters)”中。

[0057] 图 3 示出了具有三对麦克风的麦克风阵列。第一对是处于第一水平轴上的麦克风 R1 和 R3。第二对麦克风包括处于第二水平轴上的麦克风 R2 和 R4。第三对麦克风包括表示竖直轴的麦克风 R5 和 R6,该竖直轴与两个正交的水平轴正交。

[0058] 此外,麦克风阵列包括用于将每对麦克风支撑在三个正交的空间轴中的一个对应的空间轴处的机械支撑件。另外,麦克风阵列包括用于对听音空间中的麦克风阵列的配准(registration)的激光器 30,该激光器固定地连接至机械支撑件,使得激光射线与水平轴中的一个平行或者重合。

[0059] 麦克风阵列优选地此外包括设置在三个轴彼此相交的位置处的第七麦克风 R7。如

在图 3 中示出的,机械支撑件包括第一机械轴 31 和第二水平轴 32 以及第三竖直轴 33。第三竖直轴 33 相对于由麦克风 R5 和麦克风 R6 之间的连接形成的“虚拟”竖直轴设置在中心处。第三机械轴 33 固定至上水平杆 34a 和下水平杆 34b 上,其中这些杆平行于水平轴 31 和 32。优选地,第三轴 33 固定至水平轴中的一个,并且,特别地,在连接点 35 处固定至水平轴 32。连接点 35 设置在用于第七麦克风 R7 的接收处和用于邻近的麦克风(诸如三对麦克风中的一对中的麦克风 R2)的接收处之间。优选地,每对麦克风中的麦克风之间的距离在 4cm 至 10cm 或者甚至更优选地在 5cm 至 8cm 并且,最优选地,为 6.6cm。该距离对于三对中的每对可以是相等的,但是这并非必须的条件。相反地,使用小的麦克风 R1 至 R7,并且为了保证声透射,薄的托架是必需的。为了提供结果的可再现性,需要单个麦克风的精确定位和整个阵列的精确定位。后一需求通过使用固定的交叉激光指示器 30 来实现,而前一需求通过稳定的托架来实现。为了获得精确的室脉冲响应测量,以平的幅值响应为特征的麦克风是优选的。此外,不同麦克风的幅值响应应该是匹配的并且不应该随时间显著地变化以提供结果的可再现性。运用在阵列中的麦克风是高质量全向麦克风 DPA 4060。这种麦克风具有关于 $20 \mu\text{Pa}$ 典型地为 26dBA 的 A 加权的等效噪声级以及 97dB 的动态范围。20Hz 至 20kHz 的频率范围位于离开标称曲线的 2dB 之间。托架用黄铜实现,这保证了必需的机械刚度,并且同时,没有散射。与双向 8 字形麦克风相比,使用图 3 中的阵列中的全向声压麦克风是优选的,因为与昂贵的双向麦克风相比,单独的全向麦克风便宜很多。

[0060] 特别地指出测量系统,以检测系统相对于参考条件的变化。因此,首先执行参考测量,如在图 6a 中示出的。图 6a 和在图 6b 中的过程由在图 1 中示出的控制器 14 执行。图 6a 示出了在 60 处对每个扬声器的测量,其中在 61 处重放正弦扫描并记录七个麦克风信号。然后执行暂停 62,并且,随后,对测量结果进行分析 63 并存储 64。在人工检验之后执行参考测量,因为对于参考测量,所有扬声器都得到正确地调节并处于正确的位置。这些参考测量仅必须执行一次并且可以反复地使用。

[0061] 测试测量优选地应该在每次听音测试之前执行。测试测量的整个顺序在图 6b 中呈现。在步骤 65 中,读取控制设定。接着,在步骤 66 中,通过重放正弦扫描并通过记录七个麦克风信号和随后的暂停来测量每个扬声器。然后,在步骤 67 中,执行测量分析,并且在步骤 68 中,将结果与参考测量相比较。接着,在步骤 69 中,确定测得的结果是否处于容限范围内。在步骤 73 中,可以执行结果的可视显示,并且在步骤 74 中,可以存储结果。

[0062] 图 6c 示出了对于根据图 6b 的步骤 73 的结果的可视显示的实例。通过在参考测量结果周围设定上限和下限来实现容限检查。这些界限被定义为测量开始时的参数。图 6c 显现了关于幅值响应的测量输出。曲线 3 是参考测量的上限,并且曲线 5 是下限。曲线 4 是当前测量。在该实例中,示出了中频的偏差,其通过 75 处的红色标记显现在图形用户界面(GUI)中。下限的这种违背也显示在区域 2 中。以类似的方式,对于方位角、仰角、距离和极性的结果在图形用户界面中呈现。

[0063] 随后将描述图 9,以说明三个优选的重要扬声器特性,在测量多个扬声器中,对于每个扬声器计算这些特性。第一扬声器特性是距离。使用由麦克风 R7 产生的麦克风信号计算距离。为此目的,图 1 的控制器 14 控制中心麦克风 R7 的参考信号 X 和麦克风信号 Y 的测量。接着,计算麦克风信号 R7 的传递函数,如在步骤 71 中略述的。在该计算中,执行对在步骤 71 中计算的脉冲响应的最大值(诸如图 8 中的 80)的搜索。然后,将出现最大值

80 的该时间与声速 v 相乘,以获得对应的扬声器和麦克风阵列之间的距离。

[0064] 为此目的,仅需要从麦克风 R7 的信号获得的脉冲响应的一短部分,该部分在图 9 中以“第一长度”指出。该第一长度仅从 0 延伸至最大值 80 的时间并且包括该最大值,但是不包括任何前期反射或者漫射混响。可替代地,在测试信号和来自麦克风的响应之间,可以执行任何其他同步,但是由于效率和精度,使用从麦克风 R7 的麦克风信号计算的脉冲响应的第一小部分是优选的。

[0065] 接着,对于到达方向(DOA)测量,计算对于所有七个麦克风的脉冲响应,但是仅使用脉冲响应的第二长度,该第二长度比第一长度长,并且该第二长度优选地仅延伸直至前期反射,并且,优选地,不包括前期反射。可替代地,在由窗函数(如例如由窗形 81 在图 8 中示出的)的侧部确定的衰减状态中,前期反射包括在第二长度中。与窗的中部的窗系数(其接近 1.0)相比,侧部具有小于 0.5 或者甚至小于 0.3 的窗系数。优选地计算对于单独的麦克风 R1 至 R7 的脉冲响应,如由步骤 70、71 指出的。

[0066] 优选地,将窗施加至每个脉冲响应或者与脉冲响应不同的麦克风信号,其中窗的中心或者窗的处于围绕窗的中心集中的窗长度的 50% 内的点设置在每个脉冲响应中的最大值处或者设置在麦克风信号中的对应于最大值的时间处,以获得对于每个声音信号的加窗帧(frame)。

[0067] 使用麦克风 R5 的麦克风信号计算对于每个扬声器的第三特性,因为该麦克风不会太多地受在图 3 中示出的麦克风阵列的机械支撑件影响。脉冲响应的第三长度比第二长度长,并且,优选地,不仅包括前期反射,而且包括漫反射,并且可以延伸相当长的时间量,诸如 0.2ms,以具有听音空间中的所有反射。自然,当房间是完全无混响房间时,则麦克风 R5 的脉冲响应将早很多地接近 0。但是,在任何情况下,将脉冲响应的短长度用于距离测量、将中等的第二长度用于到达方向(DOA)测量以及将长的长度用于测量扬声器脉冲响应/传递函数是优选的,如在图 9 的底部示出的。

[0068] 虽然已在设备的上下文中描述了一些方面,但是显然,这些方面也代表对相应方法的描述,其中部件或者装置对应于方法步骤或者方法步骤的特征。类似地,在方法步骤的上下文中描述的方面也代表对相应设备的相应部件或者元件或者特征的描述。

[0069] 根据特定的实施需求,本发明的实施例可以以硬件或者以软件实施。可以使用数字存储介质执行实施,该数字存储介质例如为具有存储在其上的电子可读控制信号的磁盘、DVD、CD、只读存储器(ROM)、可编程只读存储器(PROM)、可擦可编程只读存储器(EPROM)、电可擦可编程只读存储器(EEPROM)或者闪存(FLASH)存储器,这些信号与(或者能够与)可编程计算机系统相配合,使得执行相应的方法。

[0070] 根据本发明的一些实施例包括具有电子可读控制信号的数据载体,这些信号能够与可编程计算机系统相配合,使得执行本文中描述的方法中的一种。

[0071] 通常,本发明的实施例可以实施为具有程序代码的计算机程序产品,该程序代码可操作成当在计算机上运行该计算机程序产品时执行方法中的一种。程序代码可以例如存储在机器可读载体上。

[0072] 其他实施例包括存储在机器可读载体上的用于执行本文中描述的方法中的一种的计算机程序。

[0073] 换句话说,本发明方法的一个实施例因此是具有程序代码的计算机程序,该程序

代码用于当在计算机上运行该计算机程序时执行本文中描述的方法中的一种。

[0074] 本发明方法的再一实施例因此是数据载体(或者数据存储介质、或者计算机可读介质),该数据载体包括记录在其上的用于执行本文中描述的方法中的一种的计算机程序。

[0075] 本发明方法的再一实施例因此是数据流或者代表用于执行本文中描述的方法中的一种的计算机程序的信号序列。该数据流或者信号序列可以例如构造成经由数据通信连接(例如经由英特网)传递。

[0076] 再一实施例包括构造成或者适于执行本文中描述的方法中的一种的处理装置(例如计算机)或者可编程逻辑器件。

[0077] 再一实施例包括具有安装在其上的用于执行本文中描述的方法中的一种的计算机程序的计算机。

[0078] 在一些实施例中,可以使用可编程逻辑器件(例如现场可编程门阵列)来执行本文中描述的方法的功能的一些或者全部。在一些实施例中,现场可编程门阵列可以与微处理器相配合,以执行本文中描述的方法中的一种。通常,这些方法优选地通过任何硬件设备来执行。

[0079] 以上描述的实施例仅是为了说明本发明的原理。应理解的是,对于本领域技术人员而言,对本文中描述的布置和细节的修改和变更将是显然的。因此,旨在仅受未决的专利权利要求的范围限制,而不受以对本文中的实施例进行描述和说明的方式呈现的具体细节限制。

[0080] 参考资料

[0081] ITU-R建议书-BS.1116-1,“Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems (用于包括多通道声音系统的音频系统中的小损伤的主观评估的方法)”,1997,国际电信联盟:日内瓦,瑞士,26页。

[0082] A.Silzle等人,“Vision and Technical behind the New Studio and Listening Rooms of the Fraunhofer IIS Audio Laboratory (弗劳恩霍夫集成电路研究所音频实验室的新演播室和听音室背后的景象和技术)”,发表于第126届美国音频工程协会会议,慕尼黑,德国,2009。

[0083] S.Müller和P.Massarani,“Transfer-Function Measurement with Sweeps (使用扫描的传递函数测量)”,J.声学学报,49卷(2001年6月)。

[0084] Messtechnik der Akustik (声学测量技术),编辑 M. Mser,柏林,海德堡:斯普林格(Springer)。

[0085] V.Pulkki,“Spatial sound reproduction with directional audio coding (使用定向音频编码的空间声音再现)”,美国音频工程协会的杂志,55卷,6号,503-516页,2007。

[0086] O.Thiergart, R.Schultz-Amling, G.Del Galdo, D.Mahne 和 F.Kuech,“Localization of Sound Sources in Reverberant Environments Based on Directional Audio Coding Parameters (基于定向音频编码参数的声源在混响环境中的定位)”,发表于第127届美国音频工程协会会议,纽约,美国,2009年10月9-12日。

[0087] J.Merimaa, T.Lokki, T.Peltonen 和 M.Karjalainen,“Measurement, Analysis, and

Visualization of Direction Room Responses (定向室响应的测量、分析和可视化)”, 发表于第 111 届美国音频工程协会会议, 纽约, 美国, 2001 年 9 月 21-24 日。

[0088] G. Del Galdo, O. Thiergart 和 F. Kuech, “Nested microphone array processing for parameter estimation in directional audio coding (用于定向音频编码中的参数估计的嵌套式麦克风阵列处理)”, 关于信号处理在音频和声学上的应用(WASPAA)的 IEEE 研讨会论文集, 纽普兹, 纽约, 2009 年 10 月, 接受出版。

[0089] F. J. Fahy, Sound Intensity (声音强度), 艾塞克斯: 爱思唯尔科学出版社有限公司, 1989 年。

[0090] A. Silzle 和 M. Leistner, “Room Acoustic Properties of the New Listening-Test Room of the Fraunhofer IIS (弗劳恩霍夫集成电路研究所的新听音测试室的室声学特性)”, 发表于第 126 届美国音频工程协会会议, 慕尼黑, 德国, 2009 年。

[0091] ST350 Portable Microphone System (ST350 便携式麦克风系统), 用户手册。
“<http://www.soundfield.com/>”。

[0092] J. Ahonen, V. Pulkki, T. Lokki, “Teleconference Application and B-Format Microphone Array for Directional Audio Coding (用于定向音频编码的电信会议应用和 B 格式麦克风阵列)”, 发表于第 30 届美国音频工程协会国际研讨会: 智能音频环境, 2007 年 3 月。

[0093] M. Kallinger, F. Kuech, G. Del Galdo, J. Ahonen 和 V. Pulkki, “Analysis and adjustment of planar microphone arrays for application in Directional Audio Coding (应用在定向音频编码中的平面麦克风阵列的分析和调节)”, 发表于第 124 届美国音频工程协会会议, 阿姆斯特丹, 荷兰, 2008 年 5 月 17-20 日。

[0094] H. Balzert, Lehrbuch der Software-Technik (Software-Entwicklung) (软件工程教材(软件开发)), 1996 年, 海德堡, 柏林, 牛津: 牛津大学出版社。

[0095] “<http://en.wikipedia.org/wiki/Nassi%E2%80%93Shneiderman...diagram>”, 访问于 2010 年 3 月 31 日。

[0096] R. Schultz-Amling, F. Kuech, G. Del Galdo, J. Ahonen 和 V. Pulkki, “Planer Microphone Array Processing for the Analysis and Reproduction of Spatial Audio using Directional Audio Coding (用于使用定向音频编码的空间音频的分析和再现的平面麦克风阵列处理)”, 发表于第 124 届美国音频工程协会会议, 阿姆斯特丹, 荷兰, 2008 年 5 月。

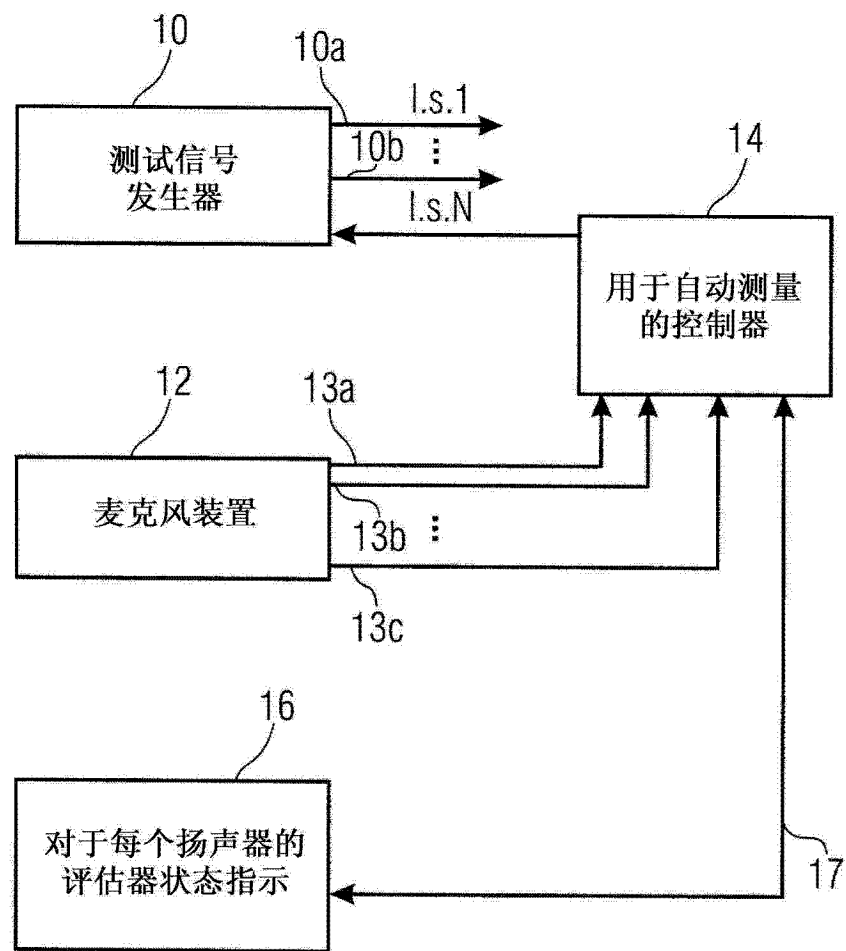


图 1

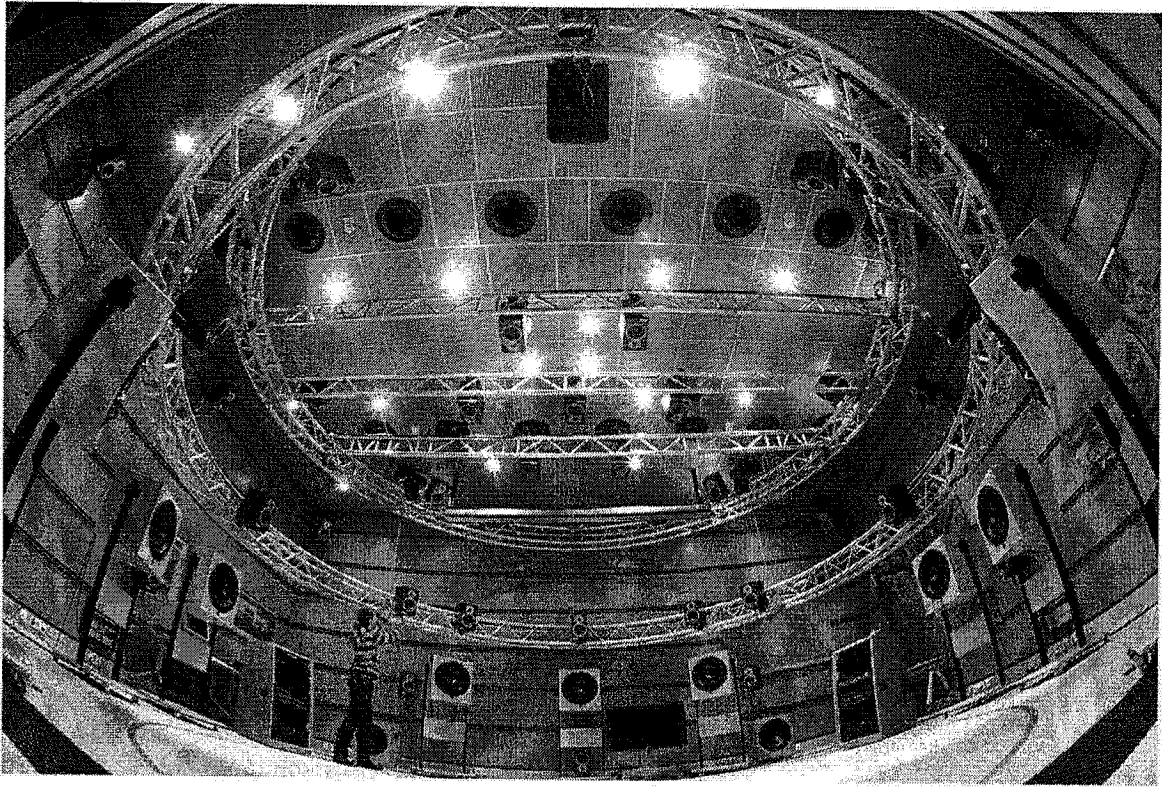


图 2

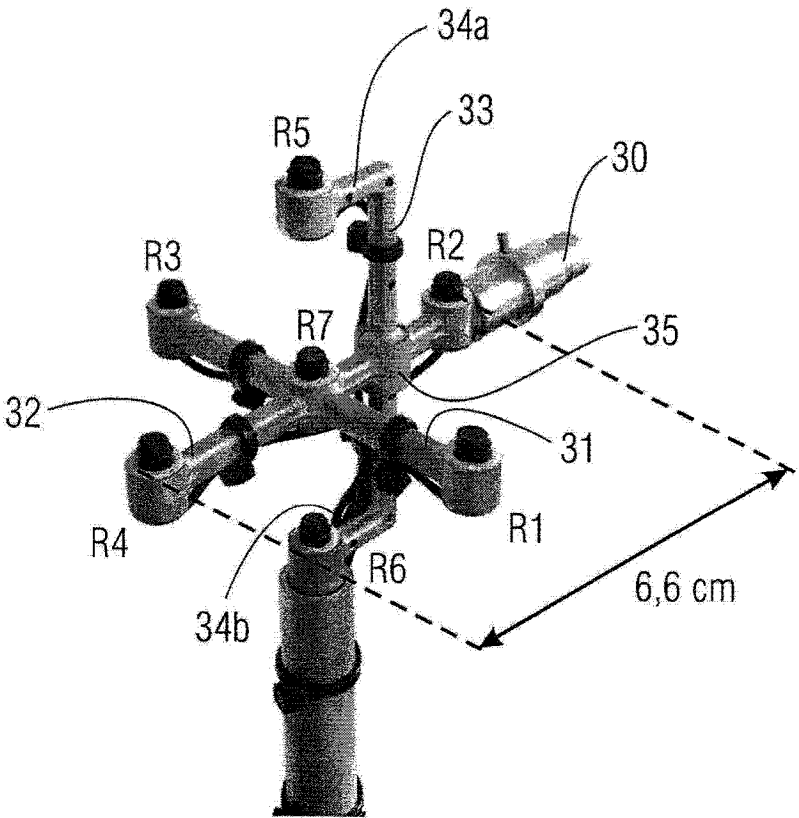


图 3

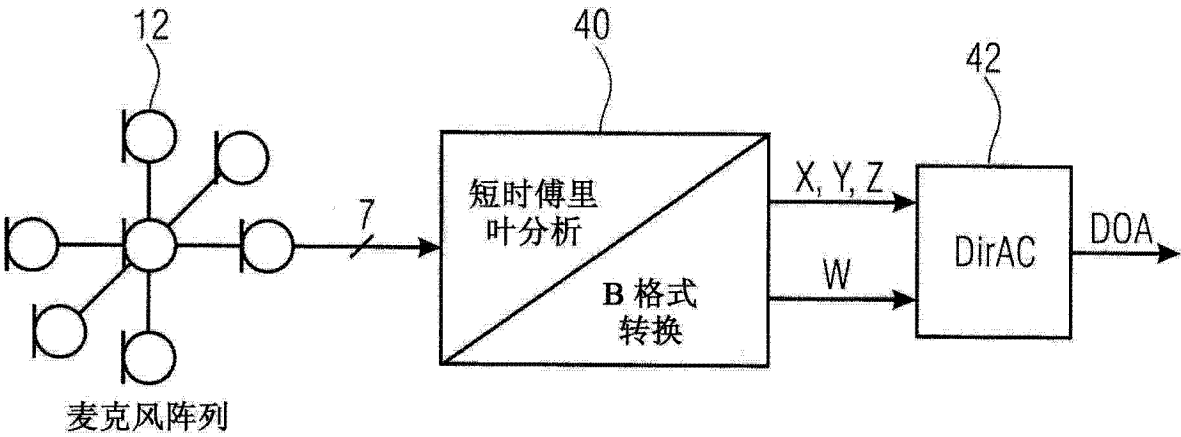


图 4A

$$\begin{aligned}U_x(k, n) &= B(k, d)(P_1(k, n) - P_3(k, n)), \\U_y(k, n) &= B(k, d)(P_2(k, n) - P_4(k, n)), \\U_z(k, n) &= B(k, d)(P_5(k, n) - P_6(k, n)),\end{aligned}$$

图 4B

$$P(k, n) = \sum_i P_i(k, n).$$

图 4C

3D定位算法

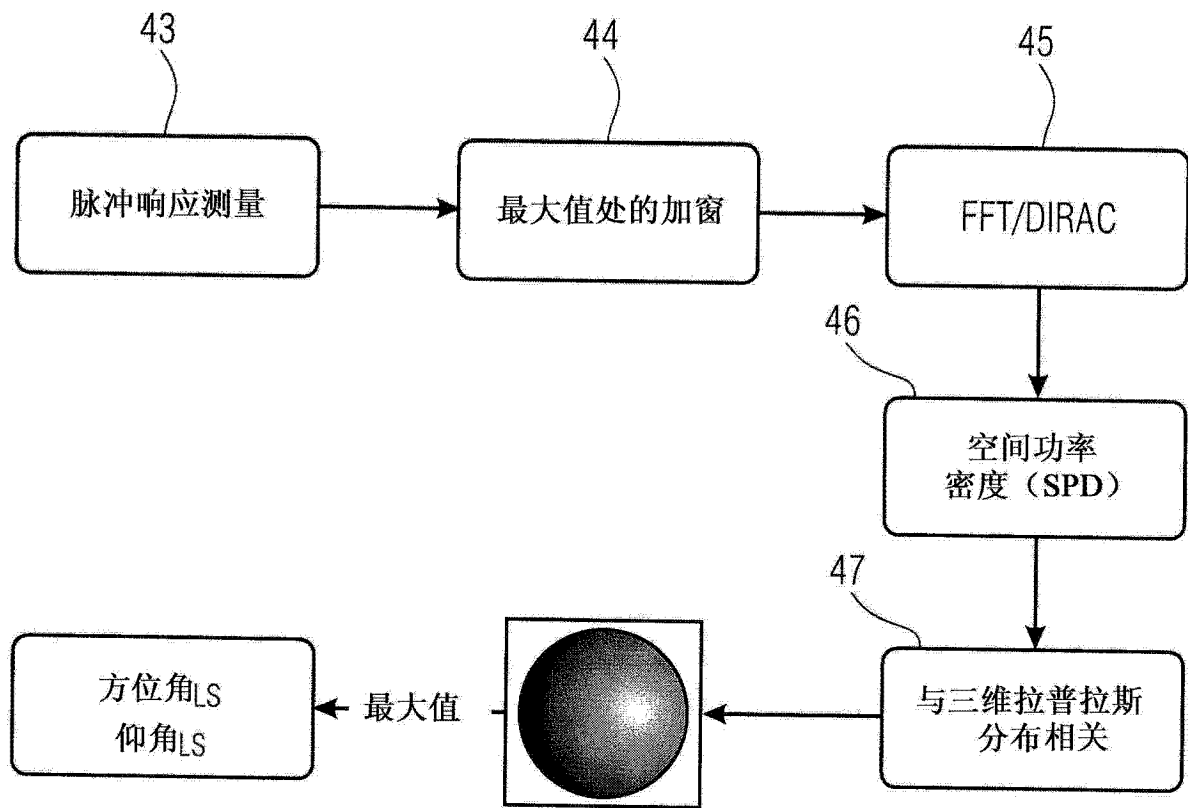
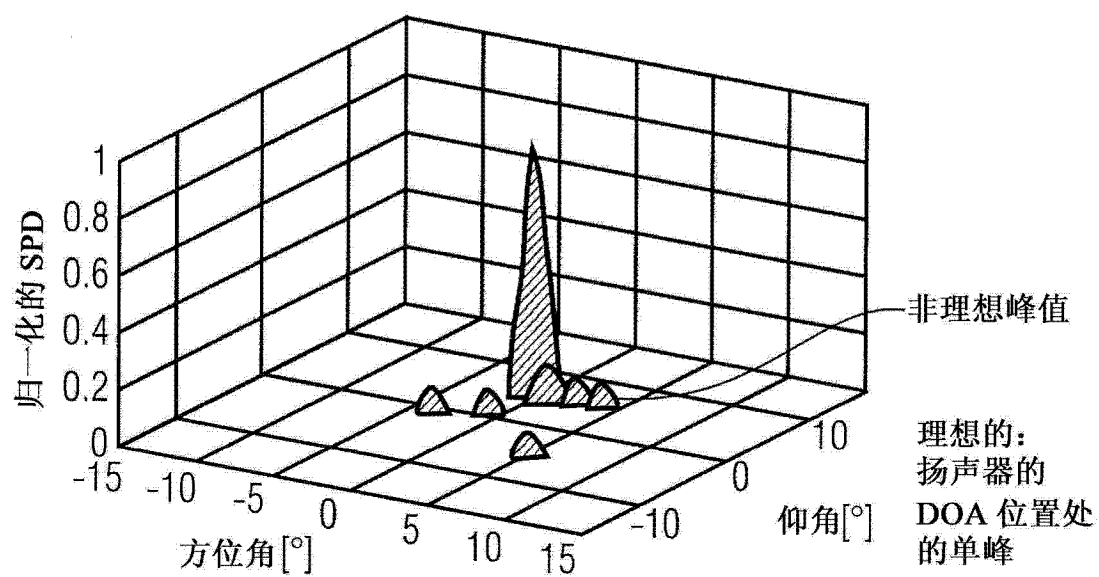


图 4D



设置在 $[\Phi, \theta] = [0^\circ, 0^\circ]$ 中的
扬声器的观察到的空间功率密度 (Γ)

图 4E

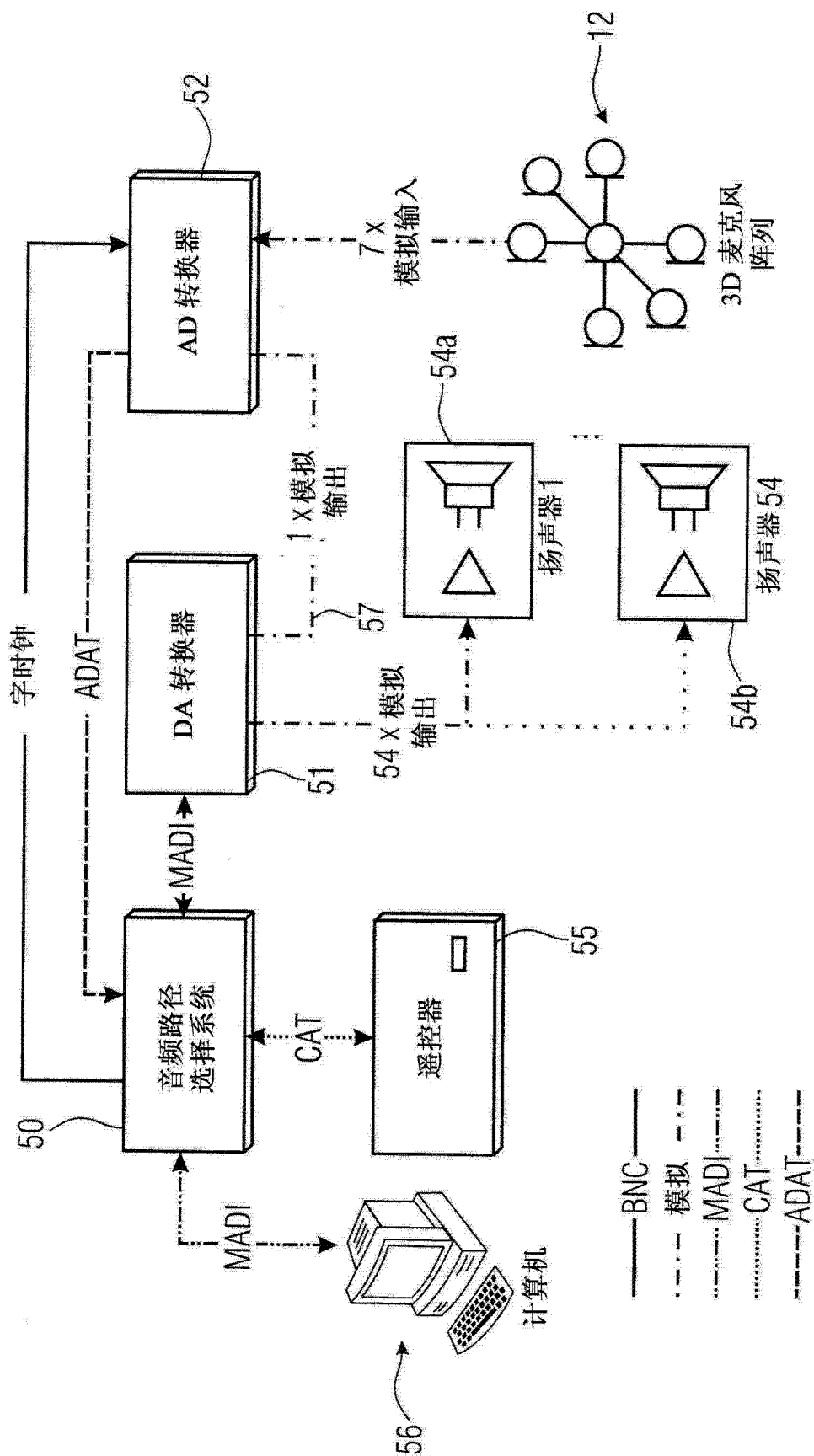


图 5

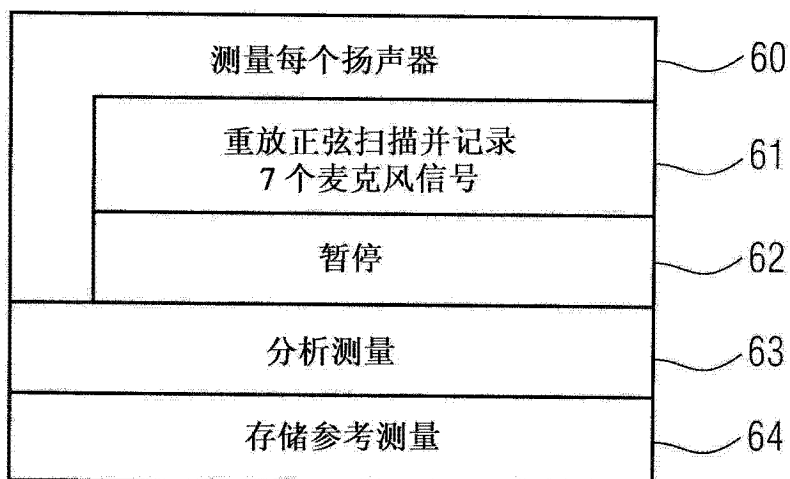


图 6A

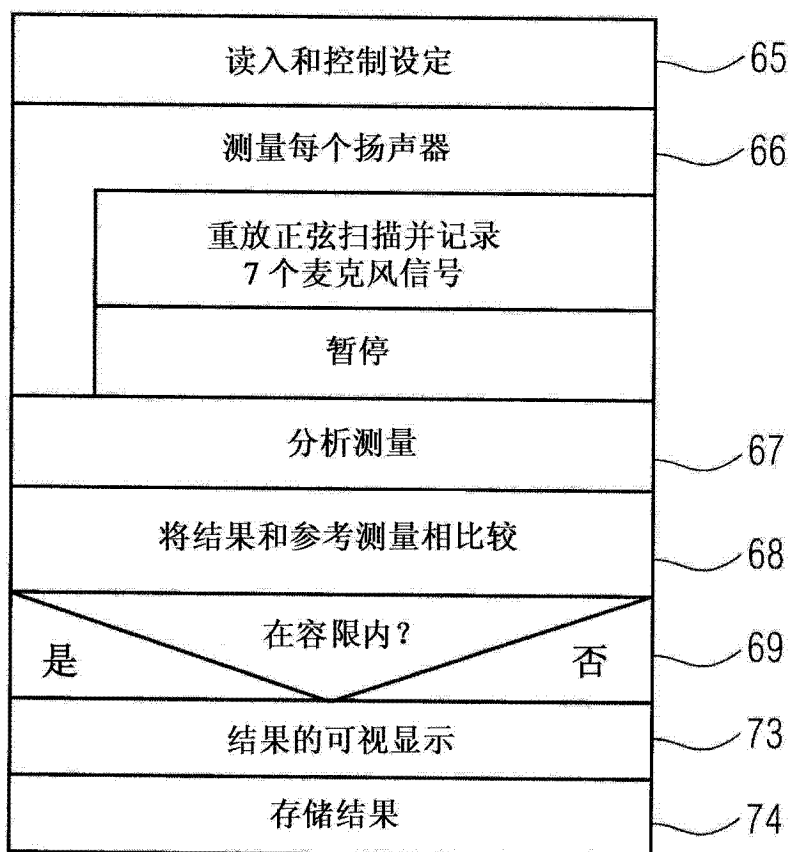


图 6B

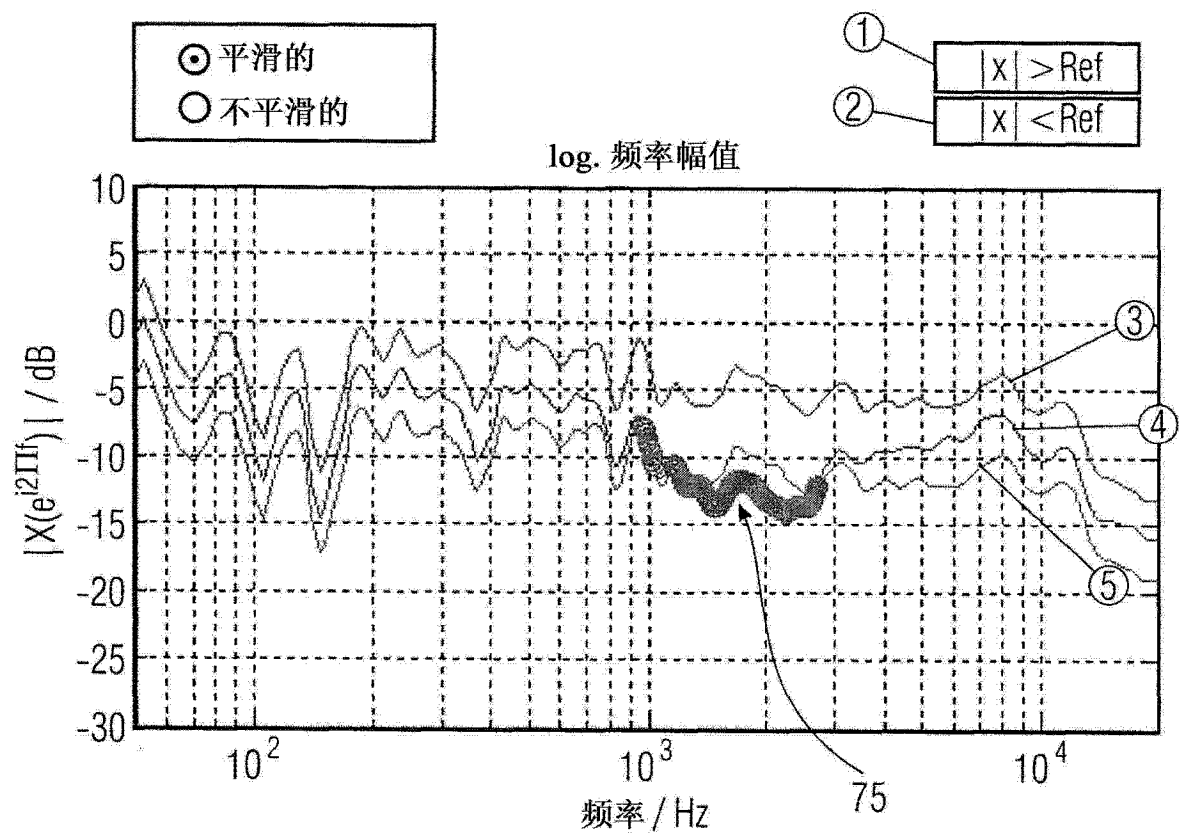
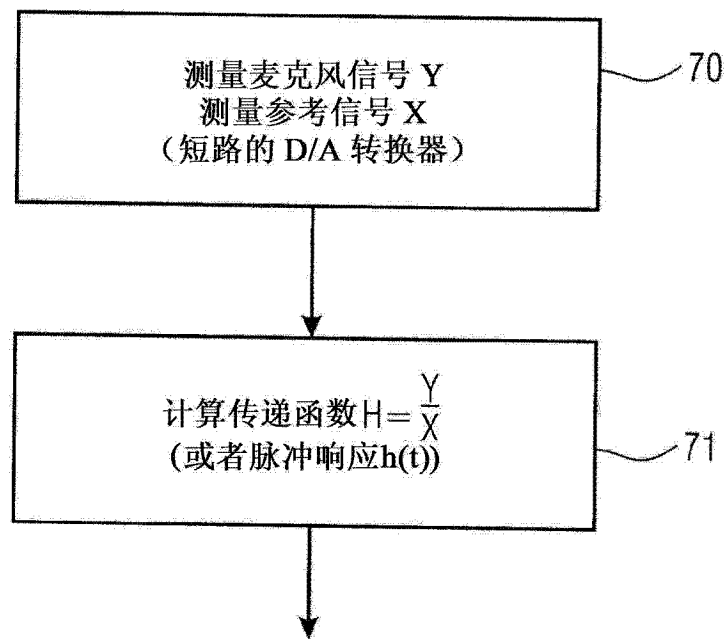


图 6C



扬声器特性的：

- $h(t) = \text{IFFT}(H(f))$
- $|H(f)| = 20 \log |H(f)| \text{ dB}$
- $\Phi(f) = \arctan \frac{\text{Im}(H(f))}{\text{Re}(H(f))}$
- $\tau = -\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial f}$
- $\text{ETC} = 20 \log (h^2(t)) \text{ dB}$
- $d = v \cdot t$
- DOA 使用 DIRAC 算法

图 7

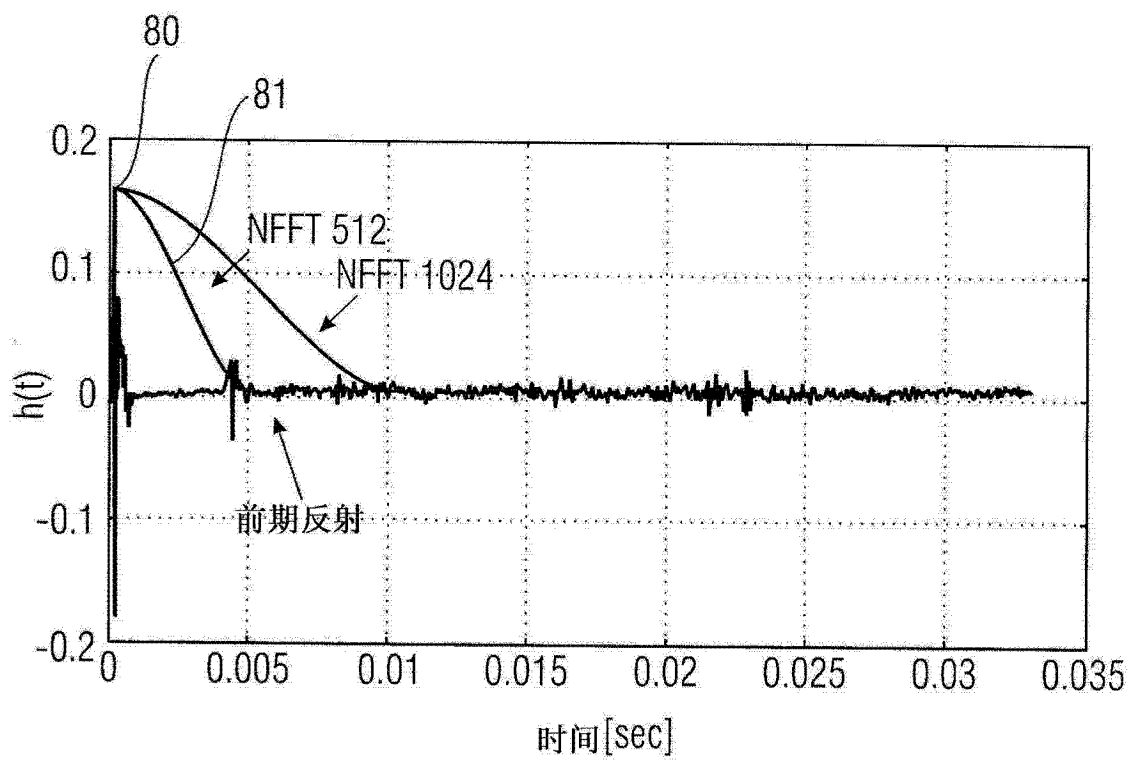


图 8

距离： 脉冲响应的第一长度
直至（包括）最大值

DOA： 脉冲响应的第二长度
直至（不包括）前期反射

扬声器脉冲响应 /
传递函数： 脉冲响应的第三长度
包括前期反射和漫反射

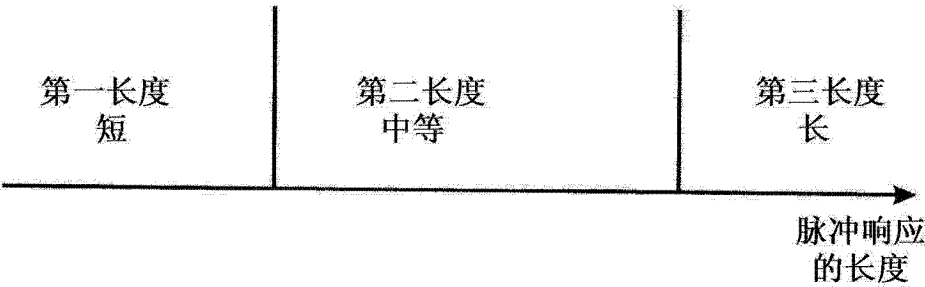


图 9