



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111869239 B

(45) 授权公告日 2021.10.08

(21) 申请号 201980017363.7

(22) 申请日 2019.10.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111869239 A

(43) 申请公布日 2020.10.30

(30) 优先权数据
62/746,468 2018.10.16 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.09.04

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2019/056523 2019.10.16

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/081674 EN 2020.04.23

(73) 专利权人 杜比实验室特许公司
地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 C·Q·鲁滨逊 M·R·P·托马斯
M·J·史密瑟斯

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287
代理人 陈甜甜

(51) Int.Cl.
H04S 7/00 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 105340300 A, 2016.02.17
CN 1748442 A, 2006.03.15
CN 1906971 A, 2007.01.31
CN 1799279 A, 2006.07.05
CN 102209283 A, 2011.10.05
CN 1658709 A, 2005.08.24
US 2006280311 A1, 2006.12.14

审查员 刘贺

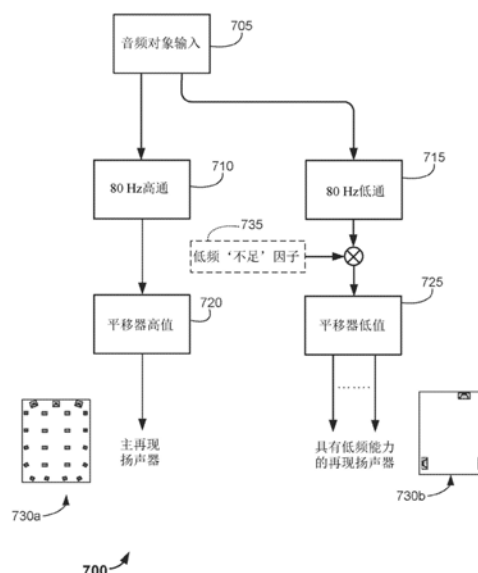
权利要求书3页 说明书18页 附图14页

(54) 发明名称

用于低音管理的方法和装置

(57) 摘要

一些公开的方法涉及多频带低音管理。一些此类实例可以涉及出于低音管理目的应用多个高通和低通滤波频率。一些公开的方法将至少一些低频信号视为可以平移的音频对象。一些公开的方法涉及分别平移低频和高频。在高通渲染之后,功率审核可以确定待由低音炮或其它具有低频能力的扬声器再现的低频不足因子。



1. 一种音频处理方法,其包括:

接收音频数据,所述音频数据包括多个音频对象,所述音频对象包含音频数据和相关联的元数据,所述元数据包含音频对象位置数据;

接收包括再现环境中的一或多个再现扬声器的指示和所述再现环境内的所述一或多个再现扬声器的位置的指示的再现扬声器布局数据,其中所述再现扬声器布局数据包含与所述再现环境的一或多个低频能力LFC再现扬声器相对应的LFC扬声器位置数据和与所述再现环境的一或多个主再现扬声器相对应的主扬声器位置数据;

至少部分地基于所述相关联的元数据和所述再现扬声器布局数据将所述音频对象渲染为扬声器馈送信号,其中每个扬声器馈送信号对应于再现环境内的一或多个再现扬声器;

对所述扬声器馈送信号中的至少一些应用高通滤波以产生高通滤波扬声器馈送信号;

对多个音频对象中的每个音频对象的所述音频数据应用低通滤波以产生低频LF音频对象;

至少部分地基于所述LFC扬声器位置数据来平移所述LF音频对象以产生LFC扬声器馈送信号;

将所述LFC扬声器馈送信号输出到所述再现环境的一或多个LFC扬声器;和

将所述高通滤波扬声器馈送信号提供给所述再现环境的一或多个主再现扬声器。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中:

所述方法进一步包括在对所述多个所述音频对象中的每个音频对象的所述音频数据应用低通滤波之前,抽取一或多个所述音频对象的所述音频数据,或

对所述多个所述音频对象中的每个音频对象的所述音频数据应用低通滤波包括抽取一或多个所述音频对象的所述音频数据。

3. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其进一步包括:确定所述音频对象的所述音频数据的信号电平,将所述信号电平与阈值信号电平进行比较,并仅对所述音频数据的所述信号电平大于或等于所述阈值信号电平的音频对象应用所述一或多个低通滤波。

4. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其进一步包括:

至少部分地基于所述平移的增益信息和高通滤波特性来计算功率不足;

至少部分地基于所述功率不足来确定所述低通滤波的系数。

5. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其中对所述扬声器馈送信号中的至少一些应用高通滤波包括:应用两个或两个以上不同的高通滤波。

6. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,对所述扬声器馈送信号中的至少一些应用高通滤波包括:对第一多个所述扬声器馈送信号应用第一高通滤波以产生第一高通滤波扬声器馈送信号,并对第二多个所述扬声器馈送信号应用第二高通滤波以产生第二高通滤波扬声器馈送信号,所述第一高通滤波被配置成相较于所述第二高通滤波使较低范围的频率通过。

7. 根据权利要求6所述的方法,其进一步包括:接收关于第一组主再现扬声器的第一再现扬声器性能信息,并接收关于第二组主再现扬声器的第二再现扬声器性能信息,其中:

所述第一高通滤波对应于所述第一再现扬声器性能信息;

所述第二高通滤波对应于所述第二再现扬声器性能信息;和

将所述高通滤波扬声器馈送信号提供给所述一或多个主再现扬声器包括：将所述第一高通滤波扬声器馈送信号提供给所述第一组主再现扬声器，并将所述第二高通滤波扬声器馈送信号提供给所述第二组主再现扬声器。

8. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法，其中所述元数据包含是否对与所述音频对象中的特定音频对象相对应的扬声器馈送信号应用高通滤波的指示。

9. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法，其中产生所述LF音频对象包括：应用两个或两个以上不同的滤波。

10. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法，其中产生所述LF音频对象包括：

对所述音频对象中的至少一些应用低通滤波以产生第一LF音频对象，所述低通滤波被配置成使第一范围的频率通过；和

对所述第一LF音频对象应用高通滤波以产生第二LF音频对象，所述高通滤波被配置成使第二范围的频率通过，所述第二范围的频率是中LF范围的频率；并且其中至少部分地基于所述LFC扬声器位置数据来平移所述LF音频对象以产生LFC扬声器馈送信号包括：

通过平移所述第一LF音频对象来产生第一LFC扬声器馈送信号；和

通过平移所述第二LF音频对象来产生第二LFC扬声器馈送信号。

11. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法，其中产生所述LF音频对象包括：

对第一多个所述音频对象应用低通滤波以产生第一LF音频对象，所述低通滤波被配置成使第一范围的频率通过；和

对第二多个所述音频对象应用带通滤波以产生第二LF音频对象，所述带通滤波被配置成使第二范围的频率通过，所述第二范围的频率是中LF范围的频率；并且其中至少部分地基于所述LFC扬声器位置数据来平移所述LF音频对象以产生LFC扬声器馈送信号包括：

通过平移所述第一LF音频对象来产生第一LFC扬声器馈送信号；和

通过平移所述第二LF音频对象来产生第二LFC扬声器馈送信号。

12. 根据权利要求10所述的方法，其中接收所述LFC扬声器位置数据包括：接收指示能够以所述第二范围的频率再现音频数据的多个非低音炮再现扬声器中的每个扬声器的位置的非低音炮位置数据，其中产生所述第二LFC扬声器馈送信号包括：至少部分地基于所述非低音炮位置数据来平移所述第二LF音频对象中的至少一些以产生非低音炮扬声器馈送信号，其进一步包括：将所述非低音炮扬声器馈送信号提供给所述再现环境的所述多个非低音炮再现扬声器中的一或多个。

13. 根据权利要求10所述的方法，其中接收所述LFC扬声器位置数据包括：接收指示能够以所述第二范围的频率再现音频数据的多个中低音炮再现扬声器中的每个扬声器的位置的中低音炮位置数据，其中产生所述第二LFC扬声器馈送信号包括：至少部分地基于所述中低音炮位置数据来平移所述第二LF音频对象中的至少一些以产生中低音炮扬声器馈送信号，其进一步包括：将所述中低音炮扬声器馈送信号提供给所述再现环境的所述多个中低音炮再现扬声器中的一或多个。

14. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法，其中所述再现扬声器布局数据包含所述再现环境内的一或多组再现扬声器的位置的指示。

15. 一种包括接口系统和控制系统的设备，其被配置成进行根据权利要求1到14中任一权利要求所述的方法。

16. 一种计算机可读介质,其上存储有计算机程序,当由处理器执行时,所述计算机程序执行根据权利要求1到14中任一权利要求所述的方法。

用于低音管理的方法和装置

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2018年10月16日提交的美国临时专利申请第62/746,468号的优先权权益,其由此通过引用整体并入本文。

技术领域

[0003] 本公开涉及音频数据的处理和再现。特别地,本公开涉及用于音频数据的低音管理。

背景技术

[0004] 低音管理是一种在音频系统中使用以有效地再现音频程序中的最低频率的方法。主扬声器的设计或位置可能不支持充分、有效或均匀的低频声音产生。在这种情况下,宽带信号可以被分成两个或两个以上频带,其中低频指向能够再现低频音频而不会产生过度失真的扬声器。

发明内容

[0005] 本文公开了各种音频处理方法,包括但不限于低音管理方法。一些此类方法可以涉及接收音频数据,所述音频数据可以包含多个音频对象。所述音频对象可以包含音频数据和相关联的元数据。所述元数据可以包含音频对象位置数据。一些方法可以涉及接收再现扬声器布局数据,所述再现扬声器布局数据可以包含所述再现环境中的一或多个再现扬声器的指示和所述再现环境内的所述一或多个再现扬声器的位置的指示。在一些实例中,所述再现扬声器布局数据可以包含与所述再现环境的一或多个具有低频能力的(LFC)再现扬声器相对应的LFC扬声器位置数据和与所述再现环境的一或多个主再现扬声器相对应的主扬声器位置数据。在一些实例中,所述再现扬声器布局数据可以包含所述再现环境内的一或多组再现扬声器的位置的指示。

[0006] 一些此类方法可以涉及至少部分地基于所述相关联的元数据和所述再现扬声器布局数据将所述音频对象渲染为扬声器馈送信号。每个扬声器馈送信号可以对应于再现环境内的一或多个再现扬声器。一些此类方法可以涉及对所述扬声器馈送信号中的至少一些应用高通滤波以产生高通滤波扬声器馈送信号,并对多个音频对象中的每个音频对象的所述音频数据应用低通滤波以产生低频(LF)音频对象。一些方法可以涉及至少部分地基于所述LFC扬声器位置数据来平移所述LF音频对象以产生LFC扬声器馈送信号。一些此类方法可以涉及将所述LFC扬声器馈送信号输出到所述再现环境的一或多个LFC扬声器,并将所述高通滤波扬声器馈送信号提供给所述再现环境的一或多个主再现扬声器。

[0007] 根据一些实施方案,一种方法可以涉及:在对所述多个所述音频对象中的每个音频对象的所述音频数据应用低通滤波之前或作为其一部分,抽取一或多个所述音频对象的所述音频数据。一些方法可以涉及:确定所述音频对象的所述音频数据的信号电平,将所述信号电平与阈值信号电平进行比较,并仅对所述音频数据的所述信号电平大于或等于所述

阈值信号电平的音频对象应用所述一或多个低通滤波。一些方法可以涉及：至少部分地基于所述增益和高通滤波特性来计算功率不足，并至少部分地基于所述功率不足来确定所述低通滤波。

[0008] 在一些实例中，对所述扬声器馈送信号中的至少一些应用高通滤波可以涉及：应用两个或两个以上不同的高通滤波。根据一些实施方案，对所述扬声器馈送信号中的至少一些应用高通滤波可以涉及：对第一多个所述扬声器馈送信号应用第一高通滤波以产生第一高通滤波扬声器馈送信号，并对第二多个所述扬声器馈送信号应用第二高通滤波以产生第二高通滤波扬声器馈送信号。在一些实例中，所述第一高通滤波可以被配置成相较于所述第二高通滤波使较低范围的频率通过。

[0009] 一些方法可以涉及：接收关于第一组主再现扬声器的第一再现扬声器性能信息，并接收关于第二组主再现扬声器的第二再现扬声器性能信息。在一些此类实例中，所述第一高通滤波可以对应于所述第一再现扬声器性能信息，并且所述第二高通滤波可以对应于所述第二再现扬声器性能信息。将所述高通滤波扬声器馈送信号提供给所述一或多个主再现扬声器可以涉及：将所述第一高通滤波扬声器馈送信号提供给所述第一组主再现扬声器，并将所述第二高通滤波扬声器馈送信号提供给所述第二组主再现扬声器。

[0010] 在一些实施方案中，所述元数据可以包含是否对与所述音频对象中的特定音频对象相对应的扬声器馈送信号应用高通滤波的指示。根据一些实例，产生所述LF音频对象可以涉及：应用两个或两个以上不同的滤波。

[0011] 在一些实例中，产生所述LF音频对象可以涉及：对所述音频对象中的至少一些应用低通滤波以产生第一LF音频对象。所述低通滤波可以被配置成使第一范围的频率通过。一些此类方法可以涉及：对所述第一LF音频对象应用高通滤波以产生第二LF音频对象。所述高通滤波可以被配置成使第二范围的频率通过，所述第二范围的频率是中LF范围的频率。至少部分地基于所述LFC扬声器位置数据来平移所述LF音频对象以产生LFC扬声器馈送信号可以涉及：通过平移所述第一LF音频对象来产生第一LFC扬声器馈送信号，并通过平移所述第二LF音频对象来产生第二LFC扬声器馈送信号。

[0012] 根据一些实例，产生所述LF音频对象可以涉及：对第一多个所述音频对象应用低通滤波以产生第一LF音频对象。所述低通滤波可以被配置成使第一范围的频率通过。一些此类方法可以涉及：对第二多个所述音频对象应用带通滤波以产生第二LF音频对象。所述带通滤波可以被配置成使第二范围的频率通过，所述第二范围的频率是中LF范围的频率。至少部分地基于所述LFC扬声器位置数据来平移所述LF音频对象以产生LFC扬声器馈送信号可以涉及：通过平移所述第一LF音频对象来产生第一LFC扬声器馈送信号，并通过平移所述第二LF音频对象来产生第二LFC扬声器馈送信号。

[0013] 在一些实例中，接收所述LFC扬声器位置数据可以涉及：接收指示能够以所述第二范围的频率再现音频数据的多个非低音炮再现扬声器中的每个扬声器的位置的非低音炮位置数据。产生所述第二LFC扬声器馈送信号可以涉及：至少部分地基于所述非低音炮位置数据来平移所述第二LF音频对象中的至少一些以产生非低音炮扬声器馈送信号。一些此类方法还可以涉及：将所述非低音炮扬声器馈送信号提供给所述再现环境的所述多个非低音炮再现扬声器中的一或多个。

[0014] 根据一些实施方案，接收所述LFC扬声器位置数据可以涉及：接收指示能够以所述

第二范围的频率再现音频数据的多个中低音炮再现扬声器中的每个扬声器的位置的中低音炮位置数据。在一些此类实施方案中,产生所述第二LFC扬声器馈送信号可以涉及:至少部分地基于所述中低音炮位置数据来平移所述第二LF音频对象中的至少一些以产生中低音炮扬声器馈送信号。一些此类方法还可以涉及:将所述中低音炮扬声器馈送信号提供给所述再现环境的所述多个中低音炮再现扬声器中的一或多个。

[0015] 本文所述的一些或全部方法可以由一或多个装置根据存储在一或多个非暂时性媒体上的指令(例如,软件)进行。这种非暂时性媒体可以包含存储器装置(例如,本文描述的那些),包含但不限于随机存取存储器(RAM)装置、只读存储器(ROM)装置等。因此,本公开中描述的主题的各个创新性方面可以在其上存储有软件的非暂时性媒体中实施。所述软件可以例如包含用于控制至少一个装置以处理音频数据的指令。所述软件可以例如由控制系统的一或多个组件(例如,本文公开的那些)执行。所述软件可以例如包含用于进行本文公开的一或多种方法的指令。

[0016] 本公开的至少一些方面可以经由设备来实施。例如,一或多个装置可以被配置用于至少部分地进行本文公开的方法。在一些实施方案中,一种设备可以包含接口系统和控制系统。所述接口系统可以包含一或多个网络接口、所述控制系统和存储器系统之间的一或多个接口、所述控制系统和另一装置之间的一或多个接口和/或一或多个外部装置接口。所述控制系统可以包含通用单芯片或多芯片处理器、数字信号处理器(DSP)、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)或其它可编程逻辑装置、离散门或晶体管逻辑或离散硬件组件中的至少一个。因此,在一些实施方案中,所述控制系统可以包含一或多个处理器以及可操作地耦合到所述一或多个处理器的一或多个非暂时性存储媒体。所述控制系统可以被配置用于进行本文公开的一些或全部方法。

[0017] 本说明书中描述的主题的一或多个实施方案的细节在附图和以下说明书中阐述。根据说明书、附图和权利要求书,其它特征、方面和优点将变得显而易见。注意,以下附图的相对尺寸可能未按比例绘制。在各个附图中,相似的附图标记和标志通常指示相似的元件。

附图说明

[0018] 图1示出了具有杜比环绕(Dolby Surround) 5.1配置的再现环境的一个实例。

[0019] 图2示出了具有杜比环绕7.1配置的再现环境的一个实例。

[0020] 图3示出了具有滨崎(Hamasaki) 22.2环绕声配置的再现环境的一个实例。

[0021] 图4A示出了图形用户界面(GUI)的一个实例,其描绘了虚拟再现环境中的不同高度的扬声器区域。

[0022] 图4B示出了另一再现环境的一个实例。

[0023] 图5A是示出了可以被配置成进行本文公开的方法中的至少一些的设备组件的实例的框图。

[0024] 图5B示出了扬声器频率范围的一些实例。

[0025] 图6是示出根据一个实例的低音管理方法的框的流程图。

[0026] 图7示出了根据一个公开实例的低音管理方法的框。

[0027] 图8示出了根据一个公开实例的替代低音管理方法的框。

[0028] 图9示出了根据一个公开实例的另一低音管理方法的框。

- [0029] 图10是示出了另一公开低音管理方法的功能框图。
- [0030] 图11是示出了均匀低音实施方案的一个实例的功能框图。
- [0031] 图12是提供了根据一种公开低音管理方法的抽取的一个实例的功能框图。
- [0032] 在各个附图中,相似的附图标记和标志指示相似的元件。

具体实施方式

[0033] 以下描述针对用于描述本公开的一些创新性方面的某些实施方案以及可以实施这些创新性方面的背景的实例。然而,本文的教导可以以各种不同的方式来应用。此外,所描述的实施例可以在各种硬件、软件、固件等中实施。例如,本申请的各方面可以至少部分地在设备、包含多于一个装置的系统、方法、计算机程序产品等中体现。因此,本申请的各方面可以采取硬件实施例、软件实施例(包含固件、常驻软件、微代码等)和/或结合软件和硬件方面的实施例的形式。这些实施例在本文中可以被称为“电路”、“模块”或“引擎”。本申请的一些方面可以采取计算机程序产品的形式,所述计算机程序产品在其上体现有计算机可读程序代码的一或多个非暂时性媒体中体现。这些非暂时性媒体可以例如包含硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦可编程只读存储器(EPROM或闪速存储器)、便携式光盘只读存储器(CD-ROM)、光学存储装置、磁性存储装置或上述的任何合适组合。因此,本公开的教导不旨在限于附图中示出和/或本文中描述的实施方案,而是具有广泛的适用性。

[0034] 图1示出了具有杜比环绕5.1配置的再现环境的一个实例。杜比环绕5.1是在20世纪90年代开发的,但本配置仍广泛部署在影院音响系统环境中。放映机105可以被配置成将视频图像(例如,针对电影)投影在屏幕150上。音频再现数据可以与视频图像同步并且由声音处理器110处理。功率放大器115可以将扬声器馈送信号提供给再现环境100的扬声器。

[0035] 杜比环绕5.1配置包含左环绕阵列120、右环绕阵列125,其中每一个都由单个通道组合驱动(gang-driven)。杜比环绕5.1配置还包含左屏幕通道130、中心屏幕通道135和右屏幕通道140的单独通道。提供了低音炮145的单独通道以实现低频效果(LFE)。

[0036] 在2010年,杜比通过引入杜比环绕7.1来增强数字影院音响。图2示出了具有杜比环绕7.1配置的再现环境的一个实例。数字放映机205可以被配置成接收数字视频数据并将视频图像投影在屏幕150上。音频再现数据可以由声音处理器210处理。功率放大器215可以将扬声器馈送信号提供给再现环境200的扬声器。

[0037] 杜比环绕7.1配置包含左侧环绕阵列220和右侧环绕阵列225,其中每一个都可以由单个通道驱动。与杜比环绕5.1一样,杜比环绕7.1配置包含左屏幕通道230、中心屏幕通道235、右屏幕通道240和低音炮245的单独通道。然而,杜比环绕7.1通过将杜比环绕5.1的左和右环绕通道分成四个区域而增加了环绕通道的数量:除了左侧环绕阵列220和右侧环绕阵列225以外,还包含了左后环绕扬声器224和右后环绕扬声器226的单独通道。增加再现环境200内的环绕区域的数量可以显著改善声音的定位。

[0038] 为了创建更身临其境的环境,一些再现环境以被配置有增加数量的扬声器(由增加数量的扬声器驱动)。而且,一些再现环境可以包含部署在各种高度的扬声器,其中一些可以在再现环境的座位区域之上。

[0039] 图3示出了具有滨崎22.2环绕声配置的再现环境的一个实例。滨崎22.2是由日本

NHK科技研究实验室(NHK Science&Technology Research Laboratories)开发的,是超高清电视的环绕声组件。滨崎22.2提供了24个扬声器通道,其可以用于驱动被布置成三层的扬声器。再现环境300的上扬声器层310可以由9个通道驱动。中间扬声器层320可以由10个通道驱动。下扬声器层330可以由5个通道驱动,其中两个通道用于低音炮345a和345b。

[0040] 因此,现代趋势是不仅包含更多的扬声器和更多的通道,而且还包含不同高度的扬声器。随着通道数量的增加以及扬声器布局从2D阵列过渡到3D阵列,定位和渲染声音的任务变得越来越困难。

[0041] 如本文参考虚拟再现环境(例如,虚拟再现环境404)所使用,术语“扬声器区域”通常是指可以与实际再现环境的再现扬声器具有或不具有一一对应的逻辑构造。例如,“扬声器区域位置”可以与影院再现环境的特定再现扬声器位置对应或不对应。相反,术语“扬声器区域位置”通常可以是指虚拟再现环境的区域。在一些实施方案中,虚拟再现环境的扬声器区域可以例如经由使用虚拟化技术(例如,杜比耳机(Dolby Headphone)TM(有时被称为移动环绕(Mobile Surround)TM))而与虚拟扬声器对应,所述虚拟化技术使用一组两通道立体声耳机实时创建了虚拟环绕声环境。在GUI 400中,存在七个第一高度的扬声器区域402a和两个第二高度的扬声器区域402b,从而在虚拟再现环境404中共有九个扬声器区域。在本实例中,扬声器区域1-3位于虚拟再现环境404的前区域405。前区域405可以例如对应于影院再现环境的屏幕150所位于的区域、家中的电视屏幕所位于的区域等。

[0042] 在此,扬声器区域4通常对应于左区域410中的扬声器,并且扬声器区域5对应于虚拟再现环境404的右区域415中的扬声器。扬声器区域6对应于左后区域412,并且扬声器区域7对应于虚拟再现环境404的右后区域414。扬声器区域8对应于上区域420a中的扬声器,并且扬声器区域9对应于上区域420b中的扬声器,所述上区域420b可以是虚拟顶棚区域,例如如图5D和5E中示出的虚拟顶棚520的区域。因此,如下文更详细地描述,图4A中示出的扬声器区域1-9的位置可以对应于或不对应于实际再现环境的再现扬声器的位置。此外,其它实施方案可以包含更多或更少的扬声器区域和/或高度。

[0043] 在本文描述的各个实施方案中,用户界面(例如,GUI 400)可以用作创作工具和/或渲染工具的一部分。在一些实施方案中,可以经由存储在一或多个非暂时性媒体上的软件来实施创作工具和/或渲染工具。创作工具和/或渲染工具可以(至少部分地)由硬件、固件等(例如,下面参考图21描述的逻辑系统和其它装置)来实施。在一些创作实施方案中,可以使用相关联的创作工具来创建相关联的音频数据的元数据。元数据可以例如包含指示音频对象在三维空间中的位置和/或轨迹的数据、扬声器区域约束数据等。元数据可以相对于虚拟再现环境404的扬声器区域402创建,而不是相对于实际再现环境的特定扬声器布局创建。渲染工具可以接收音频数据和相关联的元数据,并且可以为再现环境计算音频增益和扬声器馈送信号。可以根据幅度平移处理来计算此些音频增益和扬声器馈送信号,这可以创建对来自再现环境中的位置P的声音的感知。例如,可以根据以下公式,将扬声器馈送信号提供给再现环境的再现扬声器1到N:

[0044] $x_i(t) = g_i x(t)$, $i = 1, \dots, N$ (公式1)

[0045] 在公式1中, $x_i(t)$ 表示待应用到扬声器i的扬声器馈送信号, g_i 表示相对应的通道的增益因子, $x(t)$ 表示音频信号,并且t表示时间。可以例如根据V. 普尔基(V. Pulkki),幅度平移虚拟源的补偿位移(Compensating Displacement of Amplitude-Panned Virtual

Sources) (音频工程学会 (AES) 虚拟, 合成和娱乐音频国际会议 (Audio Engineering Society (AES) International Conference on Virtual, Synthetic and Entertainment Audio)) 第3-4页的第2部分中的幅度平移方法来确定增益因子, 其由此通过引用并入。在一些实施方案中, 增益可以取决于频率。在一些实施方案中, 可以通过将 $x(t)$ 替换为 $x(t - \Delta t)$ 来引入时间延迟。

[0046] 在一些渲染实施方案中, 参考扬声器区域402创建的音频再现数据可以映射到广泛的再现环境的扬声器位置, 所述再现环境可以处于杜比环绕5.1配置、杜比环绕7.1配置、滨崎22.2配置中或另一配置。例如, 参考图2, 渲染工具可以将扬声器区域4和5的音频再现数据映射到具有杜比环绕7.1配置的再现环境的左侧环绕阵列220和右侧环绕阵列225。扬声器区域1、2和3的音频再现数据可以分别映射到左屏幕通道230、右屏幕通道240和中心屏幕通道235。扬声器区域6和7的音频再现数据可以映射到左后环绕扬声器224和右后环绕扬声器226。

[0047] 图4B示出了另一再现环境的一个实例。在一些实施方案中, 渲染工具可以将扬声器区域1、2和3的音频再现数据映射到再现环境450的相对应的屏幕扬声器455。渲染工具可以将扬声器区域4和5的音频再现数据映射到左侧环绕阵列460和右侧环绕阵列465, 并且可以将扬声器区域8和9的音频再现数据映射到左上方扬声器470a和右上方扬声器470b。扬声器区域6和7的音频再现数据可以映射到左后环绕扬声器480a和右后环绕扬声器480b。然而, 在替代实施方案中, 再现环境450的至少一些扬声器可以不如图4B中所示被分组。相反, 一些此类实施方案可以涉及将音频再现数据平移到各个侧面扬声器、顶棚扬声器、环绕扬声器和/或低音炮。根据一些此类实施方案, 可以将与至少一些音频对象相对应的低频音频信号平移到各个低音炮位置和/或其它具有低频能力的扬声器 (例如, 图4B中示出的环绕扬声器) 的位置。

[0048] 在一些创作实施方案中, 可以使用创作工具来创建音频对象的元数据。如本文使用, 术语“音频对象”可以是指音频数据流 (例如, 单声道音频数据) 和相关联的元数据。元数据通常指示音频对象的二维 (2D) 或三维 (3D) 位置, 渲染约束以及内容类型 (例如, 对话、效果等)。取决于实施方案, 元数据可以包含其它类型的数据, 例如宽度数据、增益数据、轨迹数据等。一些音频对象可能是静态的, 而其它音频对象可以移动。可以根据相关联的元数据来创作或渲染音频对象细节, 所述元数据尤其可以指示音频对象在给定时间点在三维空间中的位置。当在再现环境中监视或回放音频对象时, 可以使用存在于再现环境中的再现扬声器根据位置元数据来再现音频对象, 而不是像利用传统的基于通道的系统 (例如, 杜比5.1和杜比7.1) 的情况那样将其输出到预定的物理通道。

[0049] 图5A是示出了可以被配置成进行本文公开的方法中的至少一些的地装置的组件的实例的框图。在一些实例中, 设备5可以是或可以包含被配置成提供音频处理的个人计算机、台式计算机或其它本地装置。在一些实例中, 设备5可以是服务器或可以包含服务器。根据一些实例, 设备5可以是被配置成用于经由网络接口与服务器通信的客户端装置。可以经由硬件、经由存储在非暂时性媒体上的软件、经由固件和/或通过其组合来实施设备5的组件。图5A以及本文公开的其它附图中示出的组件的类型和数量仅作为实例示出。替代实施方案可以包含更多、更少和/或不同的组件。

[0050] 在本实例中, 设备5包含接口系统10和控制系统15。接口系统10可以包含一或多个

网络接口、控制系统15和存储器系统之间的一或多个接口和/或一或多个外部装置接口(例如一或多个通用串行总线(USB)接口)。在一些实施方案中,接口系统10可以包含用户界面系统。用户界面系统可以被配置成用于从用户接收输入。在一些实施方案中,用户界面系统可以被配置成用于向用户提供反馈。例如,用户界面系统可以包含具有相对应的触摸和/或手势检测系统的一或多个显示器。在一些实例中,用户界面系统可以包含一或多个麦克风和/或扬声器。根据一些实例,用户界面系统可以包含用于提供触觉反馈的设备,例如电动机、振动器等。控制系统15可以例如包含通用单芯片或多芯片处理器、数字信号处理器(DSP)、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)或其它可编程逻辑装置、离散门或晶体管逻辑和/或离散硬件组件。

[0051] 在一些实例中,设备5可以在单个装置中实施。然而,在一些实施方案中,设备5可以在多于一个装置中实施。在一些此类实施方案中,控制系统15的功能可以包含在多于一个装置中。在一些实例中,设备5可以是另一装置的组件。

[0052] 根据一些低音管理方法,可以通过一或多个具有低频能力的(LFC)扬声器来再现来自一些或所有主通道的低于某一频率阈值的低频信息。频率阈值在本文中可以被称为“分频频率”。分频频率可以由用于再现音频通道的一或多个主扬声器的能力来确定。一些主扬声器(其在本文中可以被称为“非具有低频能力的”)可能会以相对较高的分频频率(例如,150Hz)将LF信号路由到一或多个LFC扬声器。一些主扬声器(其在本文中可以被称为“受限低频”)可能会以相对较低的分频频率(例如,60Hz)将LF信号路由到一或多个LFC扬声器。

[0053] 图5B示出了扬声器频率范围的一些实例。如图5B所示,一些LFC扬声器可以是全范围扬声器,其被分配给人类听力正常范围内的所有频率的再现。一些LFC扬声器(例如,低音炮)可以专用于低于频率阈值的音频的再现。例如,一些低音炮可以专用于再现小于诸如60Hz或80Hz的频率的音频数据。在其它实例中,一些低音炮(其在本文中可以被称为“中低音炮”)可以专用于再现处于相对较高的频率范围内(例如,大约60Hz和150Hz之间、80Hz和160Hz之间等)的音频数据。可以使用一或多个中低音炮来缩小一或多个主扬声器和一或多个低音炮之间的频率处理能力的差距。可以使用一或多个中低音炮来缩小主扬声器的相对密集配置和低音炮的相对稀疏配置之间的空间分辨率的差距。例如,如图5B中所示,针对中低音炮指示的频率范围跨越了低音炮的频率范围和“非具有低频能力的”类型的主扬声器的频率范围之间的频率范围。然而,“受限低频”类型的主扬声器能够再现包含中低音炮频率范围的频率范围。

[0054] 通常,低音炮的数量比主通道的数量少得多。因此,低频(LF)信息的空间线索减少或失真。对于典型回放环境中的低频而言,通常发现这种空间失真在感知上是可接受的,甚至是觉察不到的,因为随着声频的降低(特别是对于声源定位),人类听觉系统变得越来越无法检测空间线索。

[0055] 使用低音管理存在很多益处。用于再现主通道的多个扬声器(不带有LF音频组件)可以更小,更易于安装,更少干扰且成本更低。使用低音炮或其它LFC扬声器也可以更好地控制低频声音。LF音频可以独立于程序的其余部分进行处理,并且在一些实例中,一或多个LFC扬声器可以独立于主扬声器而放置在最适合低音再现的位置。例如,这些扬声器可以独立于主扬声器使用。例如,收听区域内座位间的频率响应的变化可以被最小化。

[0056] 可以使用分频、电路或数字音频算法来将音频信号分成两个(或两个以上,如果组

合了多个分频器) 音频信号, 每个音频信号覆盖一个频带。通常通过将输入信号并行应用到低通滤波和高通滤波来实施分频。频带边界或分频频率是分频设计的一个参数。实际上不可能完全分离成离散的频带; 频带之间会存在一些重叠。重叠的数量和性质是分频设计的另一个参数。低音管理系统的常用分频频率为80Hz, 但是基于系统组件和设计目标而经常使用更低和更高的频率。

[0057] 可以通过平移和混合多个声源来创建空间音频程序。如上所述, 在本背景中的各个声源(例如, 语音、喇叭、直升机等) 可以被称为“音频对象”。在传统的基于通道的环绕音频程序中, 将平移和混合信息应用于音频对象, 以在分发之前创建特定通道配置(例如, 5.1) 的通道信号。

[0058] 利用基于对象的音频程序, 可以由各个音频对象以及每个对象的相关联的平移和混合信息来定义音频场景。然后, 基于平移和混合信息、回放设备配置(耳机、立体声、5.1、7.1等) 以及回放环境中的潜在的最终用户控制(例如, 优选对话级别), 可以在目的地分发基于对象的程序并将其渲染(转换为通道信号)。

[0059] 基于对象的程序可以实现对低音管理系统的另外的控制。音频对象例如可以在基于通道的混合的生成之前单独地处理。

[0060] 先前实施的低音管理方法存在缺点。一个常见的问题涉及低音堆积(build-up), 这也被称为音频信号耦合。多通道程序(基于通道的分发, 或渲染到通道之后的基于对象的分发) 在转换为声音之前会受到多个音频信号的电气(模拟处理) 或数学(数字处理) 相互作用的影响。典型的低音管理系统(源主扬声器比低音炮更多的低音管理系统) 必须组合多个低频音频信号, 以生成一或多个低音炮音频信号以进行回放。当组合通道信号以通过单个扬声器进行回放时, 通常假定输入通道是独立的, 并且应用幂定律(2-范数) 来对在信号通过间隔开的扬声器回放的情况下会发生的声耦合进行建模。当从多个输入通道创建低频信号时, 基于通道的低音管理系统通常遵循本约定。

[0061] 然而, 如果音频信号不是独立的(换句话说, 如果音频信号是完全或部分相干的) 并且是叠加的(线性耦合), 则所得的电平要比通过离散的、间隔开的扬声器回放的信号高(大声)。在低音管理的情况下, 通过间隔开的主扬声器回放的相干信号将趋向于具有幂定律声耦合, 而混合(电气或数学上) 的低频将具有线性耦合。由于音频信号耦合, 这可能导致“低音堆积”。

[0062] 低音堆积也可能是由声耦合引起的。多扬声器声音再现系统受再现环境的声学空间内多个声源的相互作用的影响。通常使用与频率无关的幂和(2-范数) 来近似估算由不同扬声器产生的非相干音频信号的累积响应。由不同扬声器再现的相干音频信号的累积响应更加复杂。如果扬声器的间隔较大并且处于自由场(大的、无混响的房间或室外) 中, 则幂和近似估算很好。否则(对于间隔较近的扬声器, 对于较小的房间或由混响的房间等), 当来自两个或两个以上扬声器的相干声波重叠并耦合时, 将以取决于声源的相对位置、声频和声场内的位置的方式发生相长和相消干扰。与音频信号耦合一样, 声学相长干扰(在低频和间隔较近的扬声器中更容易发生) 趋向于源的线性和(1-范数), 而不是幂和。这可能会在房间内导致“低音堆积”。基于通道的低音管理方法补偿这种效果的能力有限。通常, 低音管理系统会忽略本效果。

[0063] 低音管理系统通常依靠听觉系统的局限性来以非常低的频率有效地识别空间信

息(例如,位置、宽度和/或扩散)。随着音频频率的增加,空间信息的丢失变得越来越明显,并且伪影变得更加明显和不可接受。

[0064] 鉴于前述问题,已经开发了各个公开的实施方案。一些公开实例可以提供多频带低音管理方法。一些此类实例可以涉及出于低音管理的目的而应用多个高通和低通滤波频率。一些实施方案还可以涉及应用一或多个带通滤波,以向“中低音炮”、低音炮或能够以中LF范围再现声音的非低音炮扬声器提供中LF扬声器馈送信号。中LF范围可以根据特定实施方案而不同。在一些实例中,带通滤波通过的中LF范围可以为大约60-140Hz、70-140Hz、80-140Hz、60-150Hz、70-150Hz、80-150Hz、60-160Hz、70-160Hz、80-160Hz、60-170Hz、70-170Hz、80-170Hz等。主扬声器的各种能力(例如,较低功率处理顶棚扬声器与更大能力的侧环绕扬声器)、目标低音炮(例如,用于LFE频道回放的低音炮与环绕低音炮)的各种能力、室内声学和其它系统特性可以影响系统内的最佳滤波频率。一些公开的多频带低音管理方法可以例如通过提供与再现环境中的扬声器的能力相对应的一或多个低通、带通和高通滤波来解决这些能力和性质中的一些或全部。

[0065] 根据一些实例,多频带低音管理方法可以涉及针对多个频带中的每个频带使用不同的低音管理扬声器配置。例如,如果对于每个低音管理频带可用的目标扬声器的数量增加,则信号的空间分辨率可以随频率而增加,从而使所感知的空间伪影的引入最小化。

[0066] 一些实施方案可以涉及针对多个频带中的每个频带使用不同的低音管理处理方法。例如,一些方法可以针对每个频带中的电平归一化使用不同的指数(p范数),以更好地匹配在没有低音管理的情况下会发生的声耦合。对于最低频率(其中声耦合趋向于线性求和),可以使用1.0或其左右的指数(1-范数)。在中低频(其中声耦合趋向于幂求和)时,可以使用2.0或其左右的指数(2-范数)。可替代地或另外地,可以选择扬声器增益以针对最低频率的均匀覆盖进行优化,并且针对较高频率的空间分辨率进行优化。

[0067] 在一些实施方案中,可以基于信号电平来动态地启用低音管理频带。例如,随着信号电平的增加,所使用的频带的数量也可能增加。

[0068] 在一些实例中,程序可以含有音频对象和通道。根据一些实例,可以针对程序通道和音频对象使用不同的低音管理方法。例如,传统的基于通道的方法可以应用于通道,而本文公开的一或多种基于音频对象的方法可以应用于音频对象。

[0069] 一些公开的方法可以将至少一些LF信号视为可以平移的音频对象。如上所述,随着音频频率的增加,空间信息的损失变得越来越明显,并且由常规低音管理方法引起的伪影变得更加明显和不可接受。多频带低音管理方法可以减少此类伪影。将LF信号(特别是中LF信号)视为可以平移的对象也可以减少此类伪影。因此,将多频带低音管理方法与涉及平移至少一些LF信号的方法相结合可能是有利的。然而,一些实施方案可以涉及平移至少一些LF信号或多频带低音管理方法,但不同时涉及低频对象平移和多频带低音管理。

[0070] 如上所述,传统的低音管理方法(其中将滤波应用于扬声器馈送)通常无法达到最佳效果,因为平移定律通常会在听众位置处假定声功率和。相反,对同一个低音炮的多个扬声器进行低音管理会产生电幅度和,从而导致电低音堆积。一些公开的方法通过分别平移低频和高频来避免这种潜在问题。在高通渲染之后,功率“审核”可以确定待由低音炮或其它具有低频能力的(LFC)扬声器再现的低频“不足”。

[0071] 因此,一些公开的低音管理方法可以涉及基于由低音管理引起的低频功率不足来

计算中LF的低通滤波 (LPF) 系数和/或带通滤波系数。下面详细描述了各个实例。基于低频功率不足来计算中LF的低通滤波系数和/或带通滤波系数的低音管理方法可以减少低音堆积。取决于特定实施方案,这种方法可以结合或不结合多频带低音管理方法和/或平移至少一些LF信号来实施。然而,将涉及基于低频功率不足来计算低通滤波系数(和/或中LF的带通滤波系数)的方法与本文公开的其它低音管理方法相结合可能是有利的。

[0072] 图6是示出了根据一个实例的低音管理方法的框的流程图。方法600可以例如由包含一或多个处理器和一或多个非暂时性存储装置的控制系统的(例如,控制系统15)实施。与其它公开的方法一样,并非方法600的所有框都必须按照图6中示出的顺序进行。此外,替代方法可以包含更多或更少的框。

[0073] 在本实例中,方法600涉及平移对应于音频对象的LF音频信号。为了简单起见,对应于音频对象的音频信号进行操作的滤波、平移和其它处理在本文中被称作对音频对象进行操作。例如,对音频对象的音频数据应用滤波的处理在本文中可以描述为对音频对象应用滤波。平移音频对象的音频数据的处理在本文中可以描述为平移音频对象。

[0074] 根据本实例,框605涉及接收包含多个音频对象的音频数据。音频对象包含音频数据(其可以是单声道音频信号)和相关联的元数据。在本实例中,元数据包含音频对象位置数据。

[0075] 在此,框610涉及接收包含再现环境中的一或多个再现扬声器的指示和再现环境内的一或多个再现扬声器的位置的指示的再现扬声器布局数据。在一些实例中,所述位置可以相对于再现环境内一或多个其它位置再现扬声器的位置,例如“中心”、“左前”、“右前”、“左环绕”、“右环绕”等。根据一些实例,再现扬声器布局数据可以包含如图1-3或4B中示出的再现环境中的一或多个再现扬声器的指示和再现环境内的一或多个再现扬声器的位置(例如,相对位置)的指示。根据一些实施方案,再现扬声器布局数据可以包含再现环境内的一或多组再现扬声器的位置(其可以是相对位置)的指示。在本实例中,再现扬声器布局数据包含与再现环境的一或多个LFC再现扬声器相对应的具有低频能力的(LFC)扬声器位置数据。

[0076] 在一些实例中,LFC再现扬声器可以包含一或多种类型的低音炮。可替代地或另外地,再现环境可以包含LFC再现扬声器,可以包含能够令人满意地再现LF音频数据的一或多种类型的宽范围和/或全范围扬声器。例如,一些此类LFC再现扬声器可以能够再现中LF音频数据(例如,80-150Hz范围内的音频数据)而不会产生令人讨厌级别的失真,同时还能够以较高频率范围再现音频数据。在一些实例中,这种全范围LFC再现扬声器可以能够再现人类可听到的大部分或全部频率范围。一些此类全范围LFC再现扬声器可以适合用于再现60Hz或更高、70Hz或更高、80Hz或更高、90Hz或更高、100Hz或更高等的音频数据。

[0077] 因此,再现环境的一些LFC再现扬声器可以是专用低音炮,并且再现环境的一些LFC再现扬声器可以用于再现LF音频数据和非LF音频数据。在一些实例中,LFC再现扬声器可以包含前扬声器、中心扬声器和/或环绕扬声器(例如,壁环绕扬声器和/或后环绕扬声器)。例如,参考图4B,再现环境的一些LFC再现扬声器(例如,再现环境450的前面和后面示出的低音炮)可以是专用低音炮,并且再现环境的一些LFC再现扬声器(例如,再现环境450的侧面和后面示出的环绕扬声器)可以用于再现LF音频数据和非LF音频数据。

[0078] 在本实例中,再现扬声器布局数据还包含与再现环境的一或多个主再现扬声器相

对应的主扬声器位置数据。与LFC再现扬声器相比,主再现扬声器可以包含相对较小的扬声器。取决于特定实施方案,主再现扬声器可以适合用于再现100Hz或更高、120Hz或更高、150Hz或更高、180Hz或更高、200Hz或更高等的音频数据。在一些实例中,主再现扬声器可以包含顶棚扬声器和/或壁扬声器。再次参考图4B,在一些实施方案中,大多数或全部顶棚扬声器和一些侧扬声器可以是主再现扬声器。

[0079] 返回图6,在本实例中,框615涉及至少部分地基于相关联的元数据和再现扬声器布局数据将音频对象渲染为扬声器馈送信号。在此,每个扬声器馈送信号对应于再现环境内的一或多个再现扬声器。

[0080] 根据本实例,框620涉及对扬声器馈送信号中的至少一些应用高通滤波以产生高通滤波扬声器馈送信号。在一些实例中,框620可以涉及对第一多个扬声器馈送信号应用第一高通滤波以产生第一高通滤波扬声器馈送信号,并对第二多个扬声器馈送信号应用第二高通滤波以产生第二高通滤波扬声器馈送信号。第一高通滤波可以例如被配置成相较于第二高通滤波使较低范围的频率通过。根据一些实例,框620可以涉及应用两个或两个以上不同的高通滤波以产生具有两个或两个以上不同的频率范围的高通滤波扬声器馈送信号。下面介绍一些实例。

[0081] 在框620中应用的一或多个高通滤波可以与再现环境中的再现扬声器的能力相对应。方法600的一些实施方案可以涉及接收关于再现环境中一或多种类型的主再现扬声器的再现扬声器性能信息。

[0082] 一些此类实施方案可以涉及接收关于第一组主再现扬声器的第一再现扬声器性能信息,并接收关于第二组主再现扬声器的第二再现扬声器性能信息。在框620中应用的第一高通滤波可以对应于第一再现扬声器性能信息,并且在框620中应用的第二高通滤波可以对应于第二再现扬声器性能信息。这种实施方案可以涉及将第一高通滤波扬声器馈送信号提供给第一组主再现扬声器,并将第二高通滤波扬声器馈送信号提供给第二组主再现扬声器。

[0083] 在一些实例中,在框620中应用的一或多个高通滤波可以至少部分地基于与音频对象相关联的元数据。元数据例如可以包含是否对与在框605中接收的音频对象中的特定音频对象相对应的扬声器馈送信号应用高通滤波的指示。

[0084] 在本实例中,框625涉及对多个音频对象中的每个音频对象应用低通滤波以产生低频(LF)音频对象。如上所述,对音频对象的音频数据进行的操作在本文中可以被称为对音频对象进行。因此,在本实例中,框625涉及对多个音频对象中的每个音频对象的音频数据应用低通滤波。在一些实例中,框625可以涉及应用两个或两个以上不同的滤波。如下面更详细描述,在框625中应用的滤波可以包含低通、带通和/或高通滤波。

[0085] 一些实施方案可以涉及仅对阈值电平或阈值电平以上的音频信号应用低音管理方法。在一些实例中,阈值电平可以根据再现环境的一或多种类型的主再现扬声器的能力而不同。根据一些此类实例,方法600可以涉及确定一或多个音频对象的音频数据的信号电平。这种实例可以涉及将信号电平与阈值信号电平进行比较。一些此类实例可以涉及仅对音频数据的信号电平大于或等于阈值信号电平的音频对象应用一或多个低通滤波。

[0086] 在图6中示出的实例中,框630涉及至少部分地基于LFC扬声器位置数据来平移LF音频对象以产生LFC扬声器馈送信号。在此,任选的框635涉及将LFC扬声器馈送信号输出到

再现环境的一或多个LFC扬声器。任选的框640涉及将高通滤波扬声器馈送信号提供给再现环境的一或多个主再现扬声器。

[0087] 在一些实施方案中,框630可以涉及产生多于一种类型的LFC扬声器馈送信号。例如,框630可以涉及产生具有不同频率范围的LFC扬声器馈送信号。不同的频率范围可以对应于再现环境的不同的LFC扬声器的能力。

[0088] 根据一些此类实例,框625可以涉及对音频对象中的至少一些应用低通滤波以产生第一LF音频对象。低通滤波可以被配置成使第一范围的频率通过。第一范围的频率可以根据特定实施方案而不同。在一些实例中,低通滤波可以被配置成使低于60Hz的频率、低于80Hz的频率、低于100Hz的频率、低于120Hz的频率、低于150Hz的频率等通过。

[0089] 在一些此类实施方案中,框625可以涉及对第一LF音频对象应用高通滤波以产生第二LF音频对象。高通滤波可以被配置成使第二范围的频率通过,所述第二范围的频率是中LF范围的频率。例如,高通滤波可以被配置成使从80到150Hz的范围、从60到150Hz的范围、从60到120Hz的范围、从80到120Hz的范围、从100到150Hz的范围、从60到150Hz的范围等中的频率通过。

[0090] 在替代实施方案中,框625可以涉及对第二多个音频对象应用带通滤波以产生第二LF音频对象。带通滤波可以被配置成使第二范围的频率通过,所述第二范围的频率是中LF范围的频率。例如,带通滤波可以被配置成使从80到150Hz的范围、从60到150Hz的范围、从60到120Hz的范围、从80到120Hz的范围、从100到150Hz的范围、从60到150Hz的范围等中的频率通过。

[0091] 根据一些此类实施方案,框630可以涉及通过平移第一LF音频对象来产生第一LFC扬声器馈送信号,并通过平移第二LF音频对象来产生第二LFC扬声器馈送信号。可以将第一和第二LFC扬声器馈送信号提供给再现环境的不同类型的LFC扬声器。例如,再次参考图4B,一些LFC再现扬声器(例如,再现环境450的前面和后面示出的低音炮)可以是专用低音炮,而一些LFC再现扬声器(例如,再现环境450的侧面和后面示出的环绕扬声器)可以是非低音炮扬声器,其可以用于再现LF音频数据和非LF音频数据。

[0092] 在一些此类实例中,在框610中接收LFC扬声器位置数据可以涉及接收非低音炮位置数据,所述非低音炮位置数据指示能够以第二范围(中LF范围)的频率再现音频数据的多个非低音炮再现扬声器中的每个非低音炮再现扬声器的相对位置。根据一些此类实施方案,框630可以涉及通过至少部分地基于非低音炮位置数据来平移第二LF音频对象中的至少一些来产生第二LFC扬声器馈送信号,以产生非低音炮扬声器馈送信号。这种实施方案还可以涉及在框635中将非低音炮扬声器馈送信号提供给再现环境的多个非低音炮再现扬声器中的一或多个。

[0093] 可替代地或另外地,与再现环境的其它专用低音炮相比,再现环境的一些专用低音炮可以能够以较低范围再现音频信号。后者在本文中有时被称为“中低音炮”。

[0094] 在一些此类实例中,在框610中接收LFC扬声器位置数据可以涉及接收中低音炮位置数据,所述中低音炮位置数据指示能够以第二范围的频率再现音频数据的多个中低音炮再现扬声器中的每个中低音炮再现扬声器的相对位置。根据一些此类实施方案,框630可以涉及通过至少部分地基于中低音炮位置数据来平移第二LF音频对象中的至少一些来产生第二LFC扬声器馈送信号,以产生中低音炮扬声器馈送信号。这种实施方案还可以涉及在框

635中将中低音炮扬声器馈送信号提供给再现环境的多个中低音炮再现扬声器中的一或多个。

[0095] 图7示出了根据一个公开实例的低音管理方法的框。根据本实例,在框705中接收音频对象。方法700还涉及接收再现扬声器布局数据或从存储器取回再现扬声器布局数据。在本实例中,再现扬声器布局数据包含与再现环境的LFC再现扬声器相对应的LFC扬声器位置数据。在LFC再现扬声器布局730b中示出了一个实例,其指示了再现环境的前面的LFC再现扬声器、再现环境的左后面的另一LFC再现扬声器以及再现环境的右后面的另一LFC再现扬声器。然而,替代实例可以包含更多的LFC再现扬声器、更少的LFC再现扬声器和/或不同位置中的LFC再现扬声器。

[0096] 在本实例中,再现扬声器布局数据包含与再现环境的主再现扬声器相对应的主扬声器位置数据。在主再现扬声器布局730a中示出了一个实例,其指示了再现环境的沿侧面、顶棚和前面的主再现扬声器的位置。然而,替代实例可以包含更多的主再现扬声器、更少的主再现扬声器和/或不同位置中的主再现扬声器。例如,一些再现环境可以不包含再现环境的前面的主再现扬声器。

[0097] 在本实施方案中,通过将与所接收的音频对象相对应的输入音频信号并行地应用到低通滤波(框715)和高通滤波(框710)来实施分频滤波。分频滤波可以例如由控制系统(例如,图5A的控制系统15)来实施。在本实例中,分频频率为80Hz,但在替代方案中,低音管理方法可以应用具有更低或更高频率的分频滤波。可以根据系统组件(例如,再现环境的再现扬声器的能力)和设计目标来选择分频频率。

[0098] 根据本实施方案,在框710中产生的高通滤波音频对象至少部分地基于与音频对象相关联的元数据和主扬声器位置数据而在框720中平移到扬声器馈送信号。每个扬声器馈送信号可以对应于再现环境内的一或多个主再现扬声器。

[0099] 在本实例中,在框715中产生的LF音频对象至少部分地基于与音频对象相关联的元数据和LFC扬声器位置数据而在框725中平移到扬声器馈送信号。每个扬声器馈送信号可以对应于再现环境内的一或多个LFC再现扬声器。在一些实例中,可以如下面参考公式13所描述表达低音管理音频对象。

[0100] 如果有多于一个LFC再现扬声器可用,则可以使用例如双平衡幅度平移根据LFC再现扬声器几何形状来平移低音管理音频对象。

[0101] 在图7中示出的实例中,任选的框735涉及在框725中将LF音频对象平移到扬声器馈送信号之前,对在框715中产生的LF音频对象应用低频不足因子。低频不足因子可以被应用以至少部分地补偿由于在框710中应用高通滤波而引起的“功率不足”。在高通滤波和/或渲染之后,功率“审计”可以确定待由LFC再现扬声器再现的低频不足因子。低频不足因子可以基于高通滤波扬声器馈送信号的功率和在框710中应用的高通滤波的形状。

[0102] 然而,在一些替代实例中,用于产生LF音频对象的一或多个滤波可以至少部分地基于功率不足。例如,参考图6,在框625中应用的一或多个滤波可以至少部分地基于功率不足。在一些此类实例中,方法600可以涉及至少部分地基于在框620中产生的高通滤波扬声器馈送信号来计算功率不足。根据一些此类实例,在框625中应用的一或多个低通滤波器的特性可以至少部分地基于功率不足来确定。功率不足可以至少部分地基于高通滤波扬声器馈送信号的功率和在框620中应用的一或多个高通滤波的形状。

[0103] 令 g_m 为扬声器 $m \in \{1 \cdots M\}$ 的对象的平移增益,其中 M 为全范围扬声器的总数。在本实例中,首先利用具有传递函数 $F_H(\omega; \omega_m)$ 的滤波以截止频率 ω_m 对平移音频对象进行高通。在巴特沃斯(Butterworth)滤波的示范性情况下,传递函数的幅度响应可以如下表达:

$$[0104] \quad F_H(\omega; \omega_m) = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\omega_m}{\omega}\right)^{2n}}} \quad \text{公式 2}$$

[0105] 在公式2中, n 表示滤波中的极数。在一些实例中, n 可以为4。然而,在替代实施方案中, n 可以大于或小于4。假定整个频率范围内的功率求和,则在听众位置从低音管理全范围扬声器接收的功率 $p(\omega)$ 可以如下表达:

$$[0106] \quad p(\omega) = \sum_{m=1}^M g_m^2 F_H^2(\omega; \omega_m) \quad \text{公式 3}$$

[0107] 因此,功率不足可以如下表达:

$$[0108] \quad d(\omega) = 1 - p(\omega) \quad \text{公式 4}$$

[0109] 因此,由理想的LFC再现扬声器再现的频谱可以如下表达:

$$[0110] \quad c(\omega) = \sqrt{d(\omega)} \quad \text{公式 5}$$

[0111] 在公式5中, c 表示理想的低音炮频谱。根据本实施方案,使用与高通路径的形式相同的巴特沃斯滤波来应用低频滤波。不幸的是,理想的LFC再现扬声器频谱不能通过低通巴特沃斯滤波的线性组合(加权和)来精确匹配。当明确地写出匹配问题时,可以更好地理解以下语句:

$$[0112] \quad \sqrt{1 - \sum_{m=1}^M g_m^2 F_H^2(\omega; \omega_m)} \simeq \sum_{m=1}^M h_m F_L(\omega; \omega_m) \quad \text{公式 6}$$

[0113] 在公式6中, h_m 表示待计算和应用的权重。如果使用具有低通传递函数幅度 $F_L(\omega; \omega_m)$ 的巴特沃斯滤波来产生低频馈送,则低通传递函数幅度可以如下表达:

$$[0114] \quad F_L(\omega; \omega_m) = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{2n}}}, \quad \text{公式 7}$$

[0115] 可以通过以离散频率 $\omega_k, k \in \{1 \cdots K\}$ 对频谱 ω 进行采样并找到权重 h_m 的约束最小二乘解来得出最佳近似解。通过上面定义的变量,我们可以得出以下矢量和矩阵:

$$[0116] \quad \mathbf{F}_m = [F_L(\omega_1; \omega_m) \ F_L(\omega_2; \omega_m) \ \dots \ F_L(\omega_K; \omega_m)]^T \in \mathbb{R}^{K \times 1} \quad \text{公式 8}$$

$$[0117] \quad \mathbf{F} = [F_1 \cdots F_M] \quad \text{公式 9}$$

$$[0118] \quad \mathbf{c} = [c(\omega_1) \ c(\omega_2) \ \dots \ c(\omega_K)]^T \quad \text{公式 10}$$

$$[0119] \quad \mathbf{h} = [h_1 \cdots h_M]^T \quad \text{公式 11,}$$

[0120] 使得 $\mathbf{Fh} = \mathbf{c}$ 。在公式10中, $\mathbf{c}$ 表示低音炮频谱的矢量形式,并且 $c(\omega_1) \ c(\omega_2) \ \dots \ c(\omega_K)$ 表示以一组离散频率评估的低音炮频谱。总频率 K 的选择是任意的。然而,根据经验已经发现,以频率 $\omega_m, \omega_m/2$ 和 $\omega_m/4$ 进行的采样产生了可接受的结果。将权重约束为非负数,可以将优化问题如下陈述:

$$[0121] \quad \hat{\mathbf{h}} = \arg \min_{\mathbf{h}} \|\mathbf{Fh} - \mathbf{c}\|_2^2 \text{ 约束条件 } h_m > 0 \quad \text{公式 12}$$

[0122] 令 h_{ij} 为对象 $i \in \{1 \cdots N\}$ 和唯一截止频率指数 $j = \{1 \cdots J\}$ 的最优权重。在一些实施方案中,低音管理音频对象可以如下表达:

[0123] $y_{BM}^i(t) = \sum_{j=1}^J h_{i,j} x_i(t) * f_j(t)$, 公式 13

[0124] 在公式13中,*表示线性卷积,并且 $f_j(t)$ 表示截止频率指数j的低通滤波的脉冲响应。

[0125] 最后一个问题来自巴特沃思滤波的相位响应(对于4阶滤波,其在截止频率时为 180°)。当两个滤波响应异相时,过渡带与通带重叠的滤波求和会导致下降(dip)。通过延迟具有高截止频率的滤波,以使其DC群延迟与具有最低截止频率的滤波的群延迟相匹配,可以将滤波异相 180° 的点推入阻带(其在阻带中影响较小)。

[0126] 图8示出了根据一个公开实例的替代低音管理方法的框。根据本实例,在框805中接收音频对象。方法800还涉及接收再现扬声器布局数据(或从存储器取回再现扬声器布局数据),其包含与再现环境的主再现扬声器相对应的主扬声器位置数据。在主再现扬声器布局830a中示出了一个实例,其指示了再现环境的沿侧面、顶棚和前面的主再现扬声器的位置。然而,替代实例可以包含更多的主再现扬声器、更少的主再现扬声器和/或不同位置中的主再现扬声器。例如,一些再现环境可以不包含再现环境的前面的主再现扬声器。

[0127] 在本实例中,再现扬声器布局数据还包含与再现环境的LFC再现扬声器相对应的LFC扬声器位置数据。在LFC再现扬声器布局830b中示出了一个实例。然而,替代实例可以包含更多的LFC再现扬声器、更少的LFC再现扬声器和/或不同位置中的LFC再现扬声器。

[0128] 根据本实施方案,在高通滤波之前,将至少一些音频对象平移到扬声器馈送信号。在此,在应用任何高通滤波之前,在框810中将低音管理音频对象平移到扬声器馈送信号。框810的平移处理可以至少部分地基于与音频对象相关联的元数据和主扬声器位置数据。每个扬声器馈送信号可以对应于再现环境内的一或多个主再现扬声器。

[0129] 在本实施方案中,在框820中应用第一高通滤波,并在框822中应用第二高通滤波。其它实施方案可以涉及应用三个或三个以上不同的高通滤波。根据本实例,第一高通滤波是60Hz高通滤波,并且第二高通滤波是150Hz高通滤波。在本实例中,第一高通滤波对应于再现环境的侧面的再现扬声器的能力,并且第二高通滤波对应于再现环境的顶棚的再现扬声器的能力。第一高通滤波和第二高通滤波可以例如由控制系统至少部分地基于所存储或所接收的再现扬声器性能信息来确定。

[0130] 在图8中示出的实例中,用于在框815中产生LF音频对象的一或多个滤波至少部分地基于功率不足。在一些此类实例中,方法800可以涉及至少部分地基于在框820和822中产生的高通滤波扬声器馈送信号来计算功率不足。功率不足可以至少部分地基于高通滤波扬声器馈送信号的功率和在框820和822中应用的高通滤波的形状。

[0131] 在本实例中,在框815中产生的LF音频对象至少部分地基于与音频对象相关联的元数据和LFC扬声器位置数据而在框825中平移到扬声器馈送信号。每个扬声器馈送信号可以对应于再现环境内的一或多个LFC再现扬声器。

[0132] 图9示出了根据一个公开实例的另一低音管理方法的框。根据本实例,在框905中接收音频对象。方法900还涉及接收再现扬声器布局数据(或从存储器取回再现扬声器布局数据),其包含与再现环境的主再现扬声器相对应的主扬声器位置数据。在主再现扬声器布局930a中示出了一个实例,其指示了再现环境的沿侧面、顶棚和前面的主再现扬声器的位置。然而,替代实例可以包含更多的主再现扬声器、更少的主再现扬声器和/或不同位置中的主再现扬声器。例如,一些再现环境可以不包含再现环境的前面的主再现扬声器。

[0133] 在本实例中,再现扬声器布局数据还包含与再现环境的LFC再现扬声器相对应的LFC扬声器位置数据。在LFC再现扬声器布局930b和930c中示出了实例。然而,替代实例可以包含更多的LFC再现扬声器、更少的LFC再现扬声器和/或不同位置中的LFC再现扬声器。在这些实例中,再现扬声器布局930b内的黑圈指示能够以大约60Hz或更小的范围再现音频数据的LFC再现扬声器的位置,而再现扬声器布局930c内的黑圈指示能够以大约60Hz到150Hz的范围再现音频数据的LFC再现扬声器的位置。根据本实例,再现扬声器布局930b指示专用低音炮的位置,而再现扬声器布局930c指示能够令人满意地再现LF音频数据的宽范围和/或全范围扬声器的位置。例如,再现扬声器布局930c中示出的LFC再现扬声器可以能够再现中LF音频数据(例如,80-150Hz范围内的音频数据)而不会产生令人讨厌级别的失真,同时还能够以较高频率范围再现音频数据。在一些实例中,再现扬声器布局930c中示出的LFC再现扬声器可以能够再现人类可听到的大部分或全部频率范围。

[0134] 根据本实施方案,在应用任何高通滤波之前,在框910中将低音管理音频对象平移到扬声器馈送信号。框910的平移处理可以至少部分地基于与音频对象相关联的元数据和主扬声器位置数据。每个扬声器馈送信号可以对应于再现环境内的一或多个主再现扬声器。

[0135] 在本实施方案中,在框920中应用第一高通滤波,并在框922中应用第二高通滤波。其它实施方案可以涉及应用三个或三个以上不同的高通滤波。根据本实例,第一高通滤波是60Hz高通滤波,并且第二高通滤波是150Hz高通滤波。在本实例中,第一高通滤波对应于再现环境的侧面的再现扬声器的能力,并且第二高通滤波对应于再现环境的顶棚的再现扬声器的能力。第一高通滤波和第二高通滤波可以例如由控制系统至少部分地基于所存储或所接收的再现扬声器性能信息来确定。

[0136] 在图9中示出的实例中,用于在框915和935中产生LF音频对象的一或多个滤波至少部分地基于功率不足。在一些此类实例中,方法900可以涉及至少部分地基于在框920和922中产生的高通滤波扬声器馈送信号来计算功率不足。功率不足可以至少部分地基于高通滤波扬声器馈送信号的功率和在框920和922中应用的高通滤波的形状。

[0137] 在本实例中,在框915中产生的LF音频对象至少部分地基于与音频对象相关联的元数据和与再现扬声器布局930b相对应的LFC扬声器位置数据而在框925中平移到扬声器馈送信号。根据本实例,在框935中产生的中LF音频对象至少部分地基于与音频对象相关联的元数据和与再现扬声器布局930c相对应的LFC扬声器位置数据而在框940中平移到扬声器馈送信号。

[0138] 图10是示出了另一公开低音管理方法的功能框图。在一些实例中,图10中示出的至少一些框可以由控制系统(例如,图5A中示出的控制系统15)来实施。在本实例中,包含音频对象和低频效果(LFE)音频信号1045的音频数据的比特流1005由比特流解析器1010接收。根据本实例,比特流解析器1010被配置成将所接收的音频对象提供给平移器1015和低频滤波器1035。在本实例中,比特流解析器1010被配置成将LFE音频信号1045提供给和框1047。

[0139] 根据本实例,由平移器1015输出的扬声器馈送信号1020被提供给多个高通滤波器1025。在一些实施方案中,每个高通滤波器1025可以与再现环境1060的主再现扬声器的能力相对应。

[0140] 根据本实例,滤波设计模块1030被配置成至少部分地基于由低音管理产生的计算功率不足来确定滤波器1035的特性。在本实例中,滤波设计模块1030被配置成至少部分地基于从平移器1015接收的增益信息和从高通滤波器1025接收的高通滤波特性(包含高通滤波频率)来确定低通滤波器1035的特性。在一些实施方案中,滤波器1035还可以包含带通滤波器,例如被配置成使中LF音频信号通过的带通滤波器。在一些实例中,滤波器1035还可以包含高通滤波器,例如被配置成对低通滤波音频信号进行操作以产生中LF音频信号的高通滤波器。根据一些此类实施方案,滤波设计模块1030可以被配置成至少部分地基于由低音管理产生的计算功率不足来确定带通滤波器和/或高通滤波器的特性。

[0141] 根据本实例,从滤波器1035输出的LF音频对象被提供给平移器1040,所述平移器1040输出LF扬声器馈送信号1042。在本实施方案中,求和框1047对LF扬声器馈送信号1042和LFE音频信号1045求和,并且将结果(LF信号1049)提供给均衡框1055。在本实例中,均衡框1055被配置成均衡LF信号1049,并且还可以被配置成应用一或多种类型的增益、延迟等。在本实施方案中,均衡框1055被配置成将所得的LF扬声器馈送信号1057输出到再现环境1060的LFC再现扬声器。

[0142] 根据本实例,来自高通滤波器1025的高通滤波音频信号1027被提供给均衡框1050。在本实例中,均衡框1050被配置成均衡高通滤波音频信号1027,并且还可以被配置成应用一或多种类型的增益、延迟等。在此,均衡框1050将所得的高通滤波扬声器馈送信号1052输出到再现环境1060的主再现扬声器。

[0143] 一些替代实施方案可以不涉及平移LF音频对象。一些此类替代实施方案可以涉及将低音均匀地平移到所有低音炮。这种实施方案允许在滤波之前进行音频对象求和,从而节省了计算复杂度。在一些此类实例中,低音管理信号可以表达为:

$$[0144] \quad y_{BM}(t) = \sum_{j=1}^J [\sum_{i=1}^N h_{i,j} x_i(t)] * f_j(t) \quad \text{公式 14}$$

[0145] 在公式14中,N表示音频对象的数量,并且J表示截止频率的数量。在一些实施方案中,可以将所得的 $y_{BM}(t)$ 以将所感知的低音幅度保持在收听位置处的程度均等地馈送到所有LFC再现扬声器或所有低音炮。

[0146] 图11是示出了均匀低音实施方案的一个实例的功能框图。框1115表示以主扬声器为目标的平移器(在先前实例中为平移器高值),其后是唯一地应用于每个主扬声器信号的高通滤波器。框1130替换了先前实例的低频平移和滤波的功能框。用简单的针对每个唯一的分频频率的求和替换平移低音处理可以减少所需的计算;除了消除计算低频信号平移的需要之外,可以重新排列公式,使得仅需要实时运行J个低通滤波器。对于平移低音,需要JN个滤波器,这对于实时实施方案来说可能是不可接受的。本实例最适合于具有相对较低分频频率且对LF空间精度的需求较低的系统。

[0147] 随着分频频率增加到超过150Hz左右,当扬声器被低音管理到远处的低音炮时,视在声像可能会发生明显变化。所述问题非常有助于抽取,因为LFC再现扬声器频率相较于采样频率通常非常低。目的是减少滤波操作的计算成本,以允许每个音频对象在不占用大量CPU负载的情况下独立地进行处理。

[0148] 图12是提供了根据一种公开低音管理方法的抽取的一个实例的功能框图。根据本实例,平移器和高通框1205首先根据音频对象位置数据和主扬声器布局数据来应用幅度平移器,然后针对每个作用通道应用高通滤波,如图1210中所示。在一些实例中,高通滤波可

以是巴特沃思滤波。这等效于上面参考公式7和8描述的高通路径。

[0149] 根据本实例,抽取框1215被配置成抽取输入音频对象的音频信号。在本实例中,抽取框1215是64x抽取框。在一些此类实例中,抽取框1215可以是使用预计算半带滤波的6级1/2抽取器。在一些实例中,半带滤波可以具有80dB的阻带抑制。在其它实例中,抽取框1215可以对音频数据进行不同程度的抽取和/或可以使用不同类型的滤波和相关处理。

[0150] 半带滤波具有以下性质:

[0151] 1. 大约一半系数为零。

[0152] 2. 非零系数是对称的(线性相位,减半乘法)。

[0153] 3. 过渡带在采样频率的1/4左右对称,这在每个抽取阶段之后都会产生朝向频带顶部的混叠。出于此目的,一些实施方案使用更长的最终滤波,以便消除任何剩余的混叠。

[0154] 关于性质3,在低音炮馈送的情况下,允许混叠驻留在约300Hz以上是可以接受的。例如,如果定义了最大截止频率150Hz,则低音炮馈送至少为-24dB x 300Hz,因此可以合理地假定,这些频率下的混叠将被全范围扬声器馈送所掩盖。

[0155] 在采样频率为48kHz时,最后一级的有效采样频率为750Hz,从而导致奈奎斯特(Nyquist)频率为375Hz。因此,在一些实施方案中,可以将300Hz定义为可以容忍混叠分量的最小频率。

[0156] 根据本实例,LP滤波模块1220被配置成设计和应用滤波以产生LF音频数据。如本文其它地方所描述,在一些实施方案中,用于产生LF音频数据的滤波还可以包含带通和高通滤波。在本实施方案中,LP滤波模块1220被配置成至少部分地基于从抽取模块1215接收的抽取音频数据以及低音功率不足(如图1225中所描绘)来设计滤波。LP滤波模块1220可以被配置成根据上述方法中的一或多种来确定功率不足。

[0157] 例如,将巴特沃思高通滤波的分析幅度频谱与上面的不足公式(公式5)相结合,LFC再现扬声器馈送的频谱可以如下表达:

$$[0158] \quad c(\omega) = \sqrt{1 - \sum_{m=1}^M \frac{g_m^2}{1 + \left(\frac{\omega_m}{\omega}\right)^{2n}}} \quad \text{公式 15}$$

[0159] 滤波 $c(\omega)$ 可以被设计为例如有限脉冲响应(FIR)滤波,并以64x抽取率应用。

[0160] 在本实例中,LP滤波模块1220还被配置成平移由设计滤波产生的LF音频数据。根据本实例,将由LP滤波模块1220产生的LF扬声器馈送信号提供给求和框1230。将由求和框1230产生的求和LF扬声器馈送信号提供给内插框1235,所述内插框1235被配置成以原始输入采样率输出LF扬声器馈送信号。所得的LF扬声器馈送信号1237可以被提供给再现环境的LFC再现扬声器1240。

[0161] 在本实例中,将由品议器和高通框1205产生的高通扬声器馈送信号提供给求和框1250。将由求和框1250产生的求和高通扬声器馈送信号1255提供给再现环境的主再现扬声器1260。

[0162] 对于本领域普通技术人员而言,对本公开中描述的实施方案的各种修改可能是显而易见的。在不脱离本公开的精神或范围的情况下,本文中定义的一般原理可以应用于其它实施方案。因此,权利要求书并非旨在受限于本文示出的实施方案,而是应被赋予与本文所公开的本公开内容、原理及新颖特征一致的最广范围。

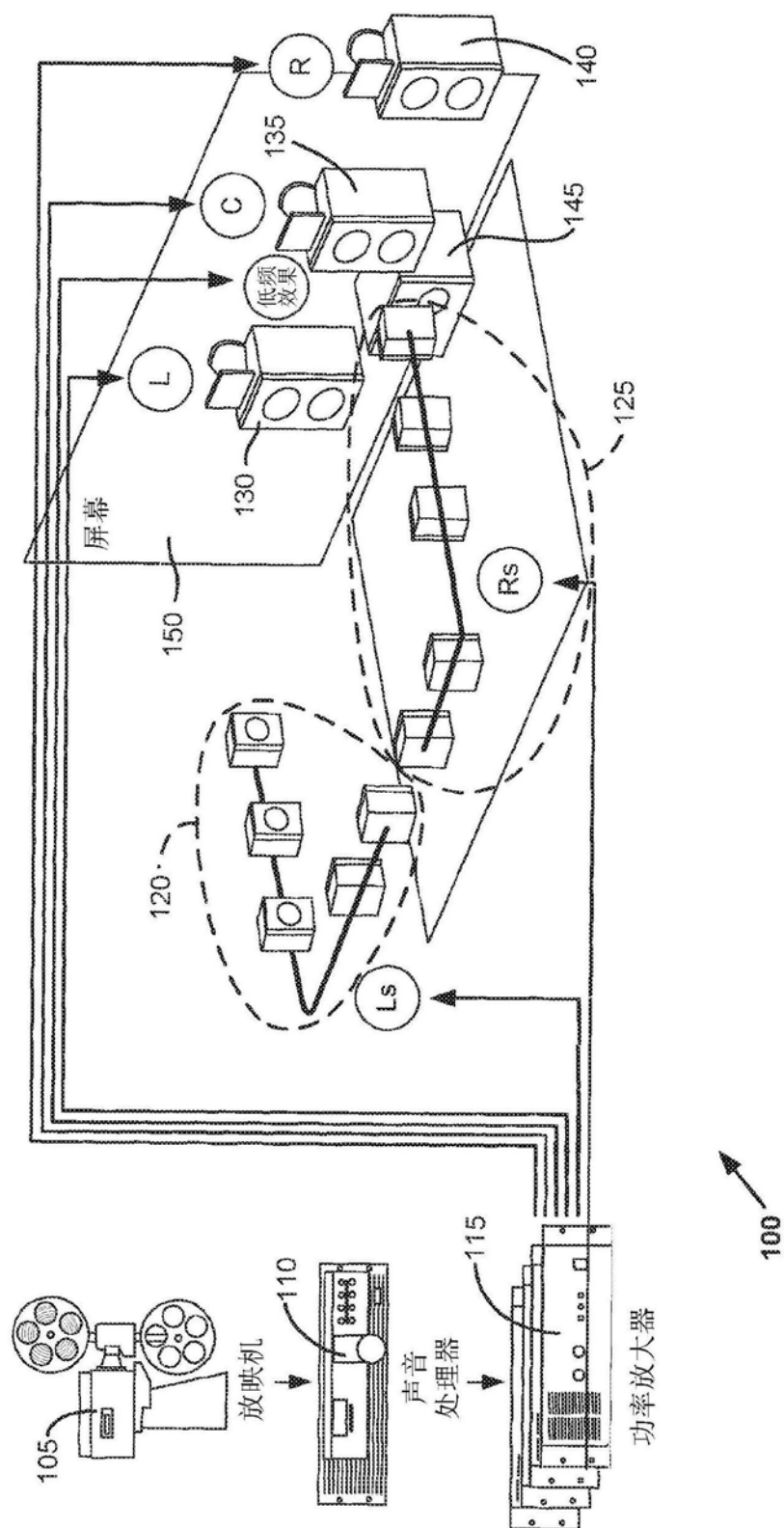


图1

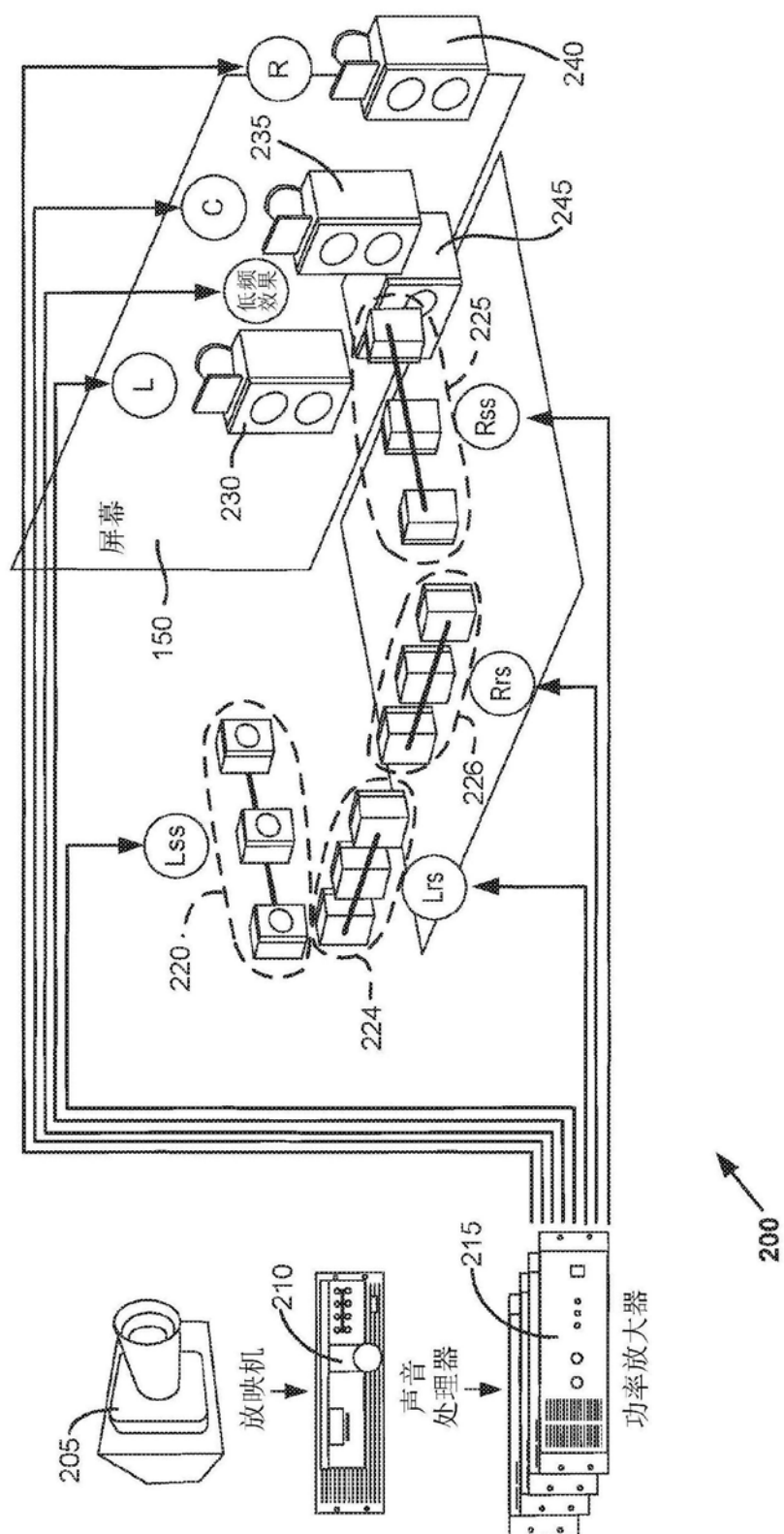


图2

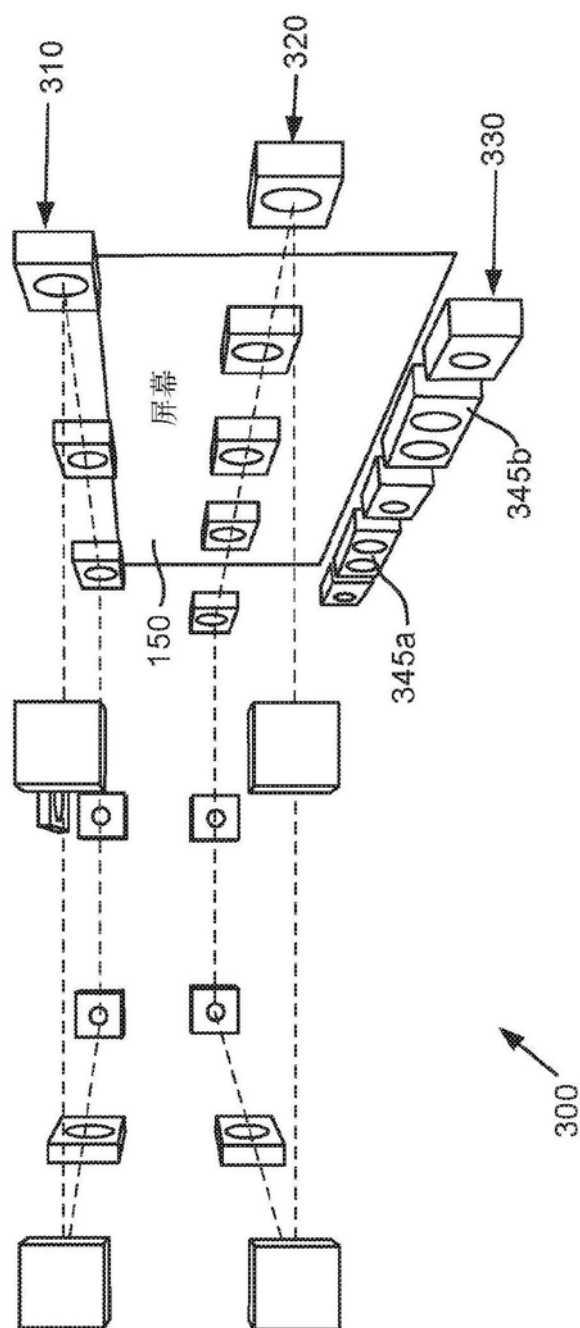


图3

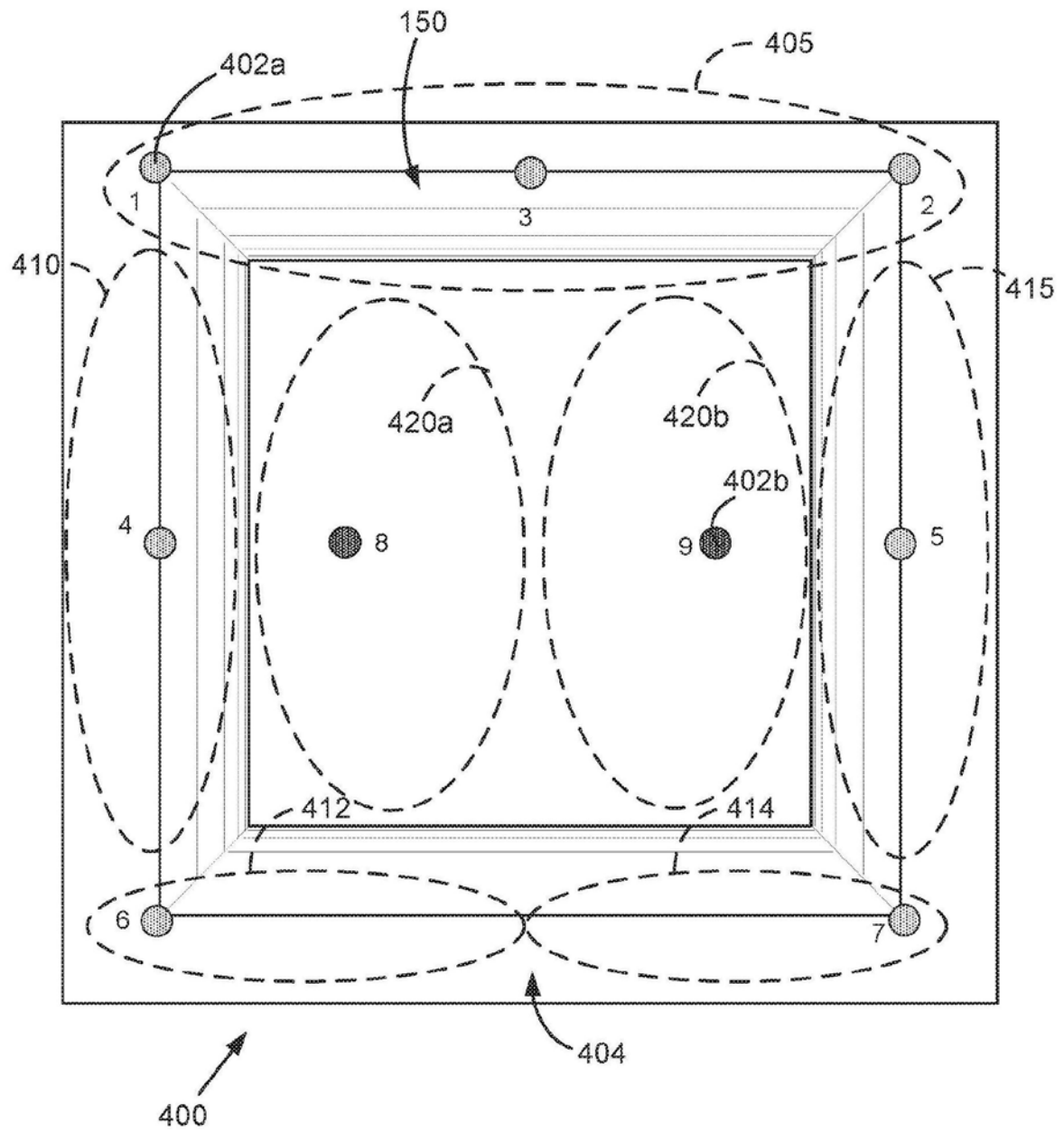


图4A

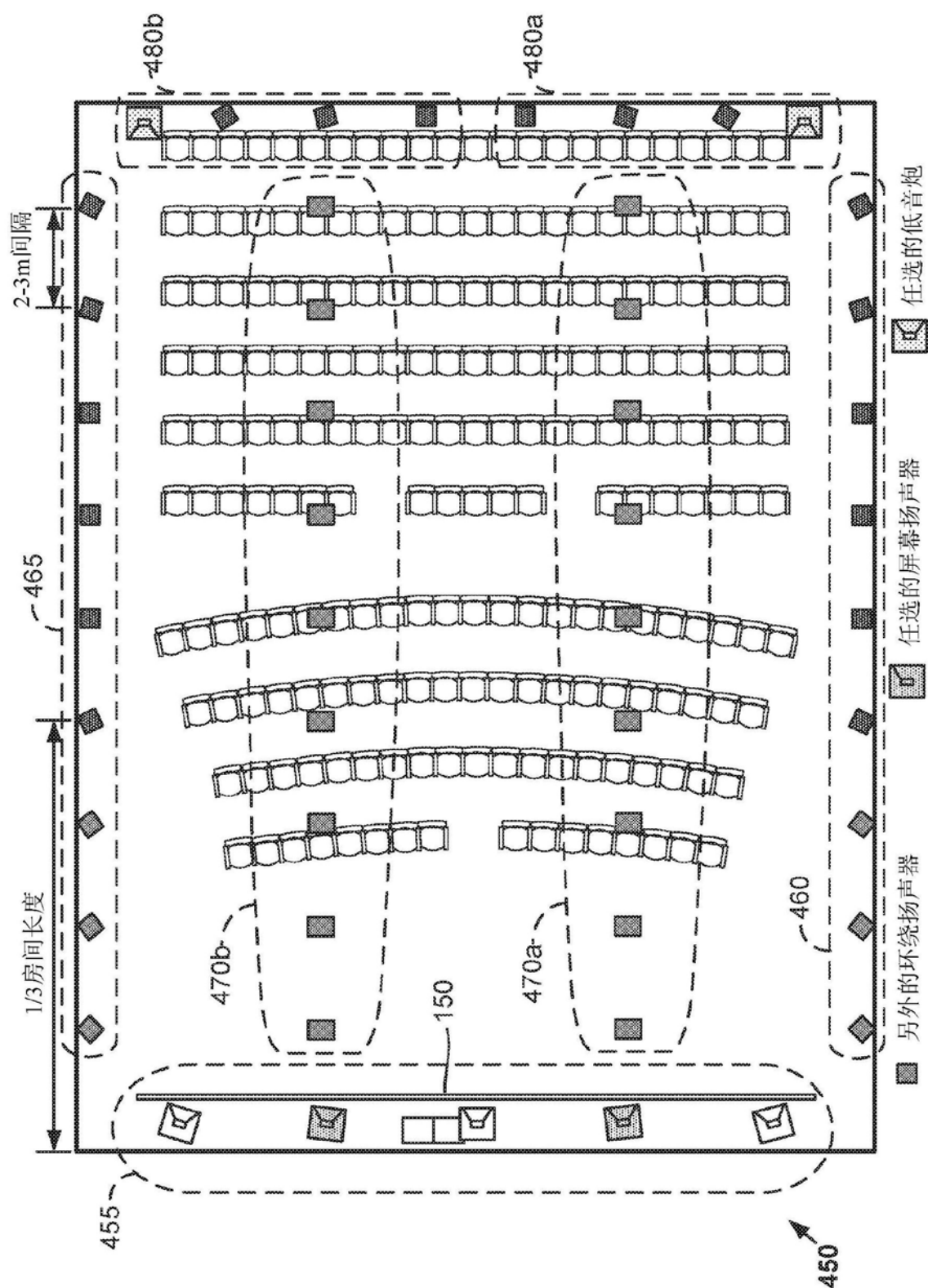


图4B

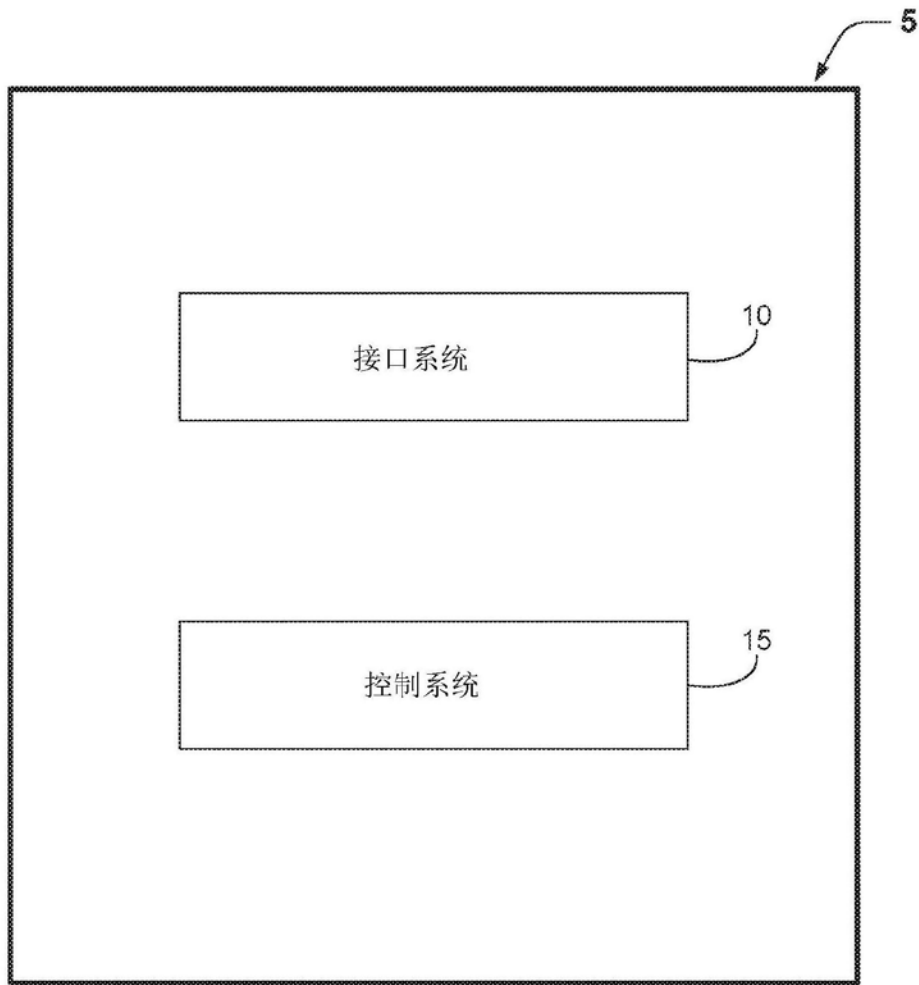


图5A

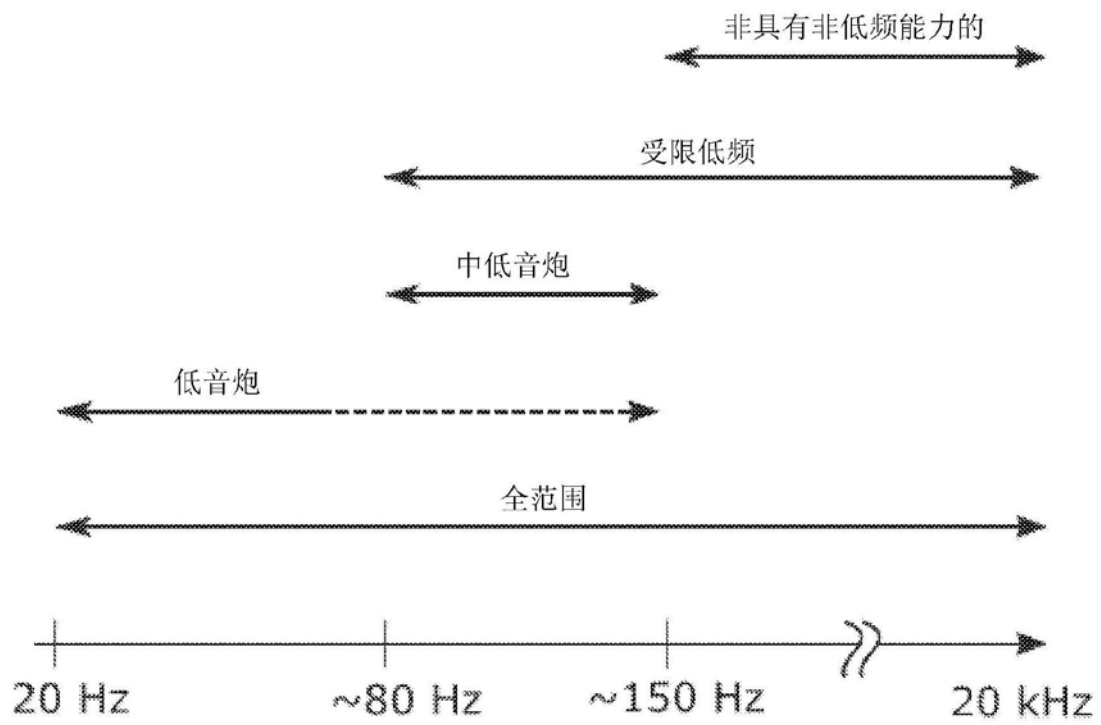


图5B

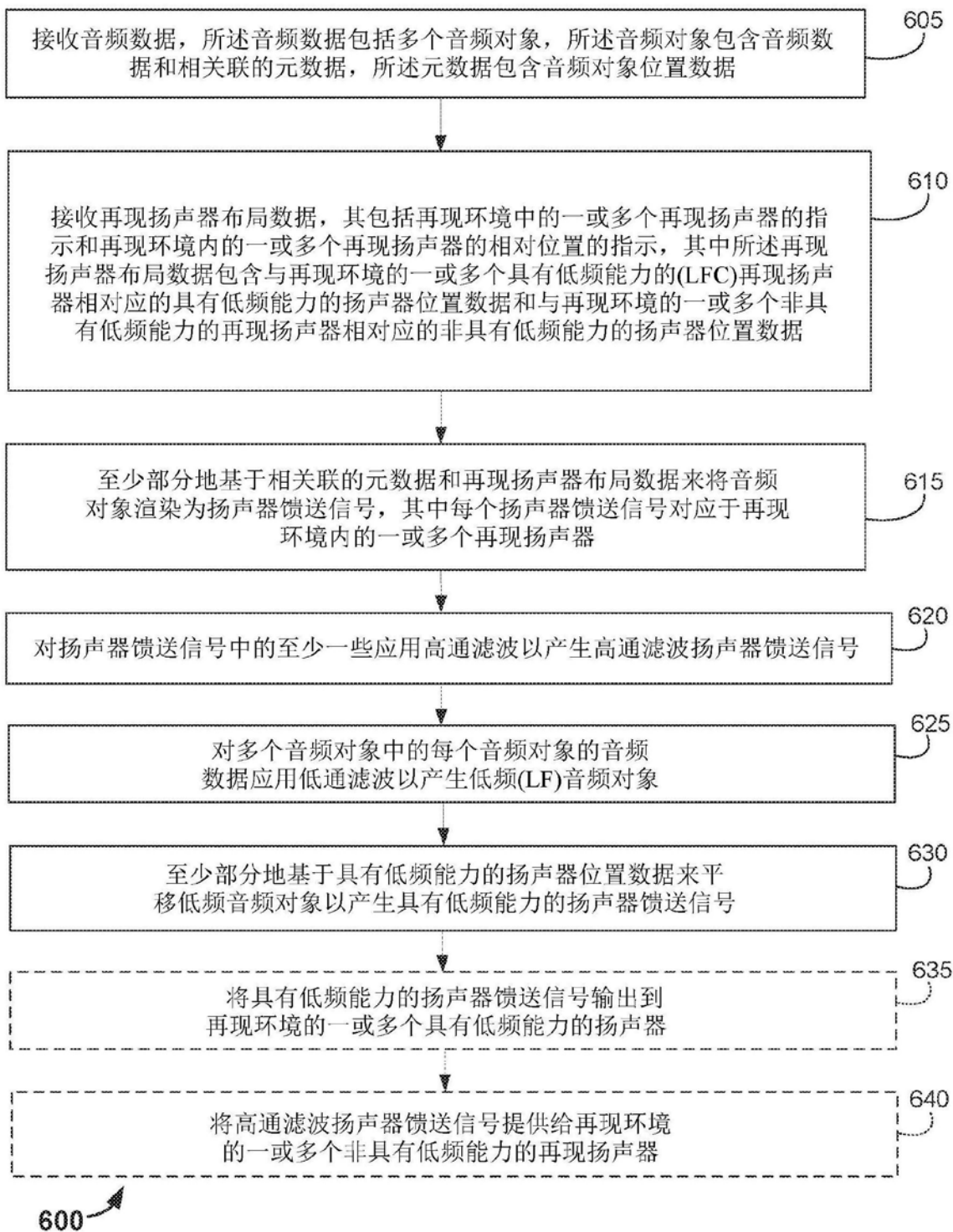


图6

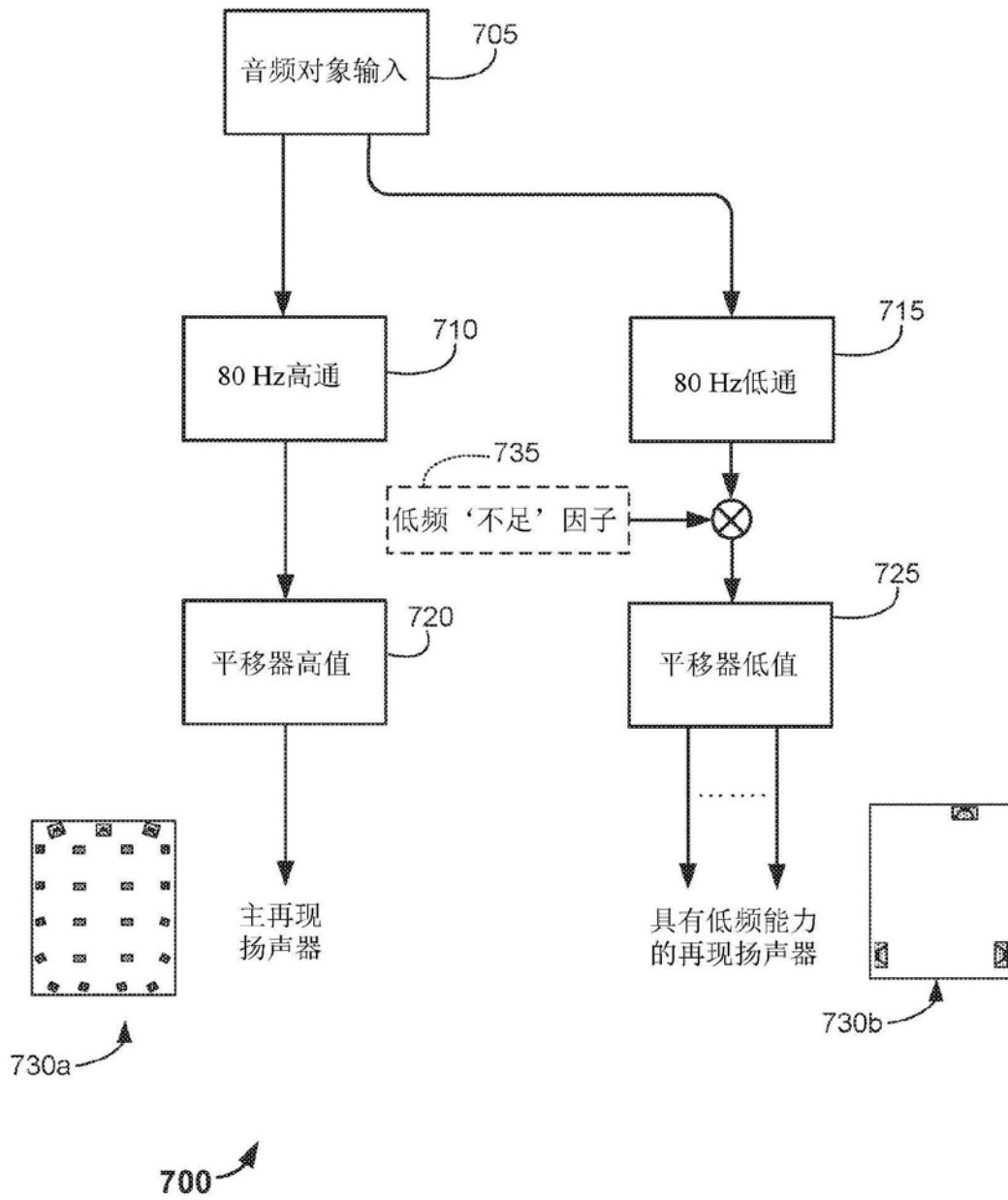


图7

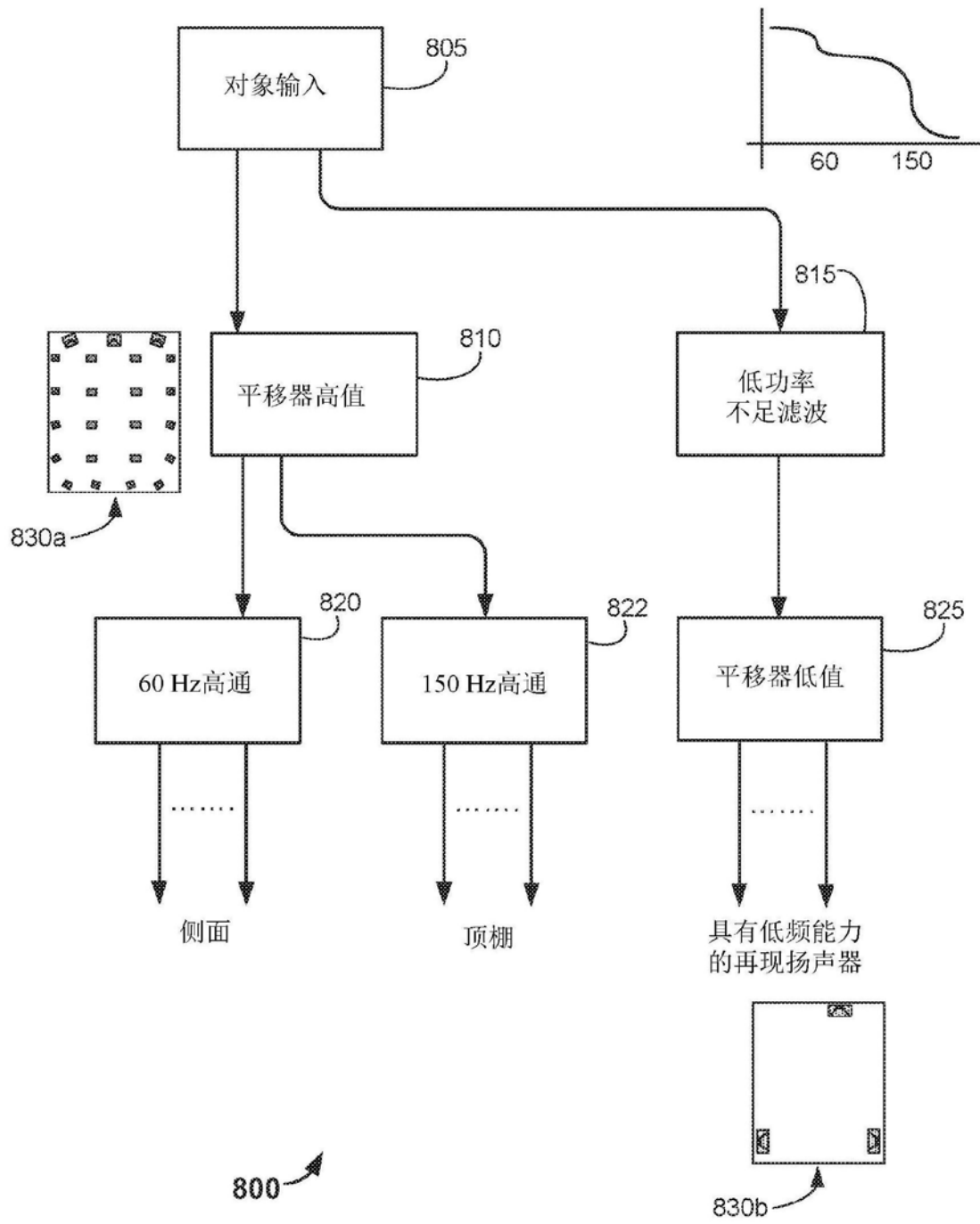


图8

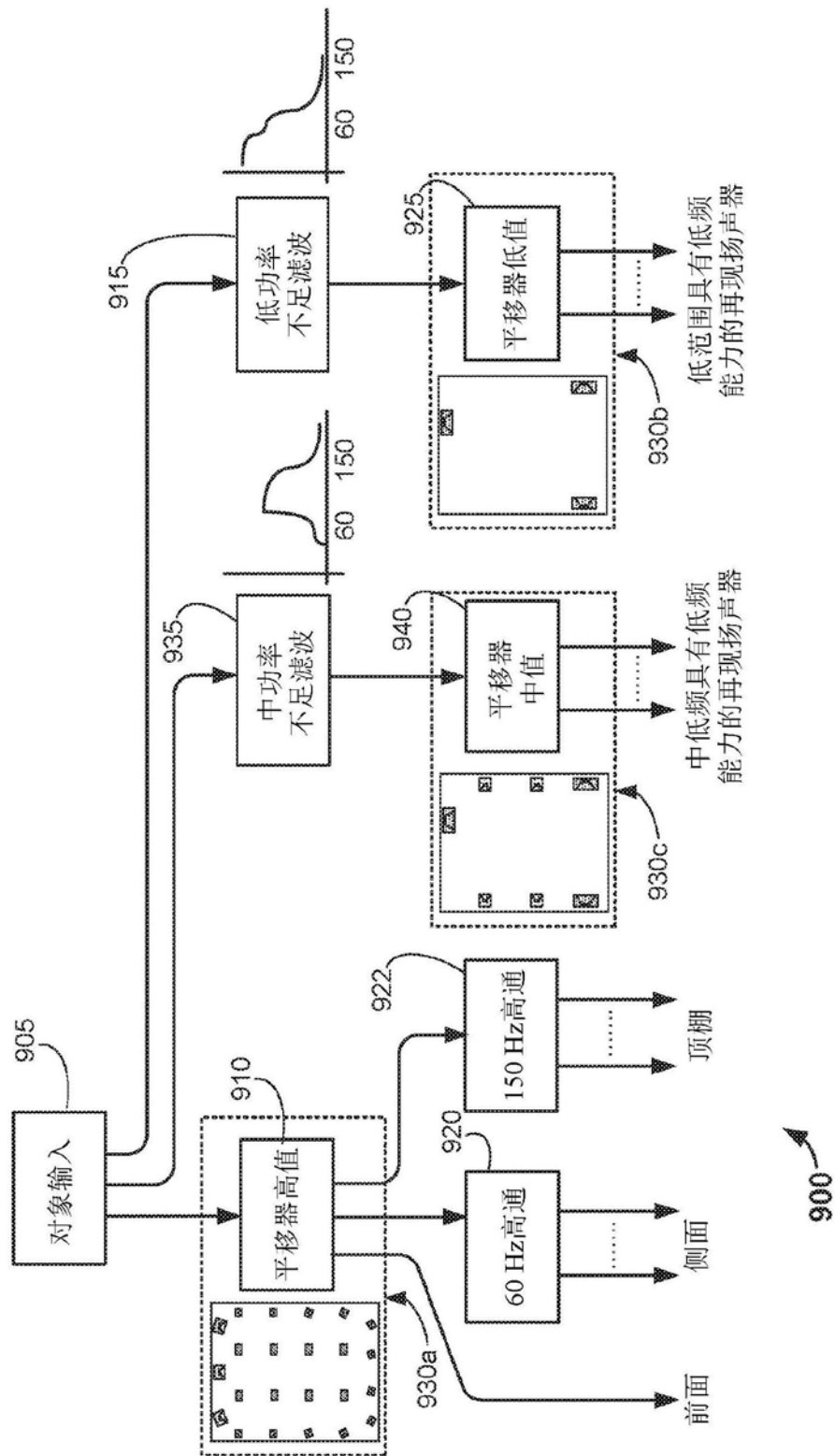


图9

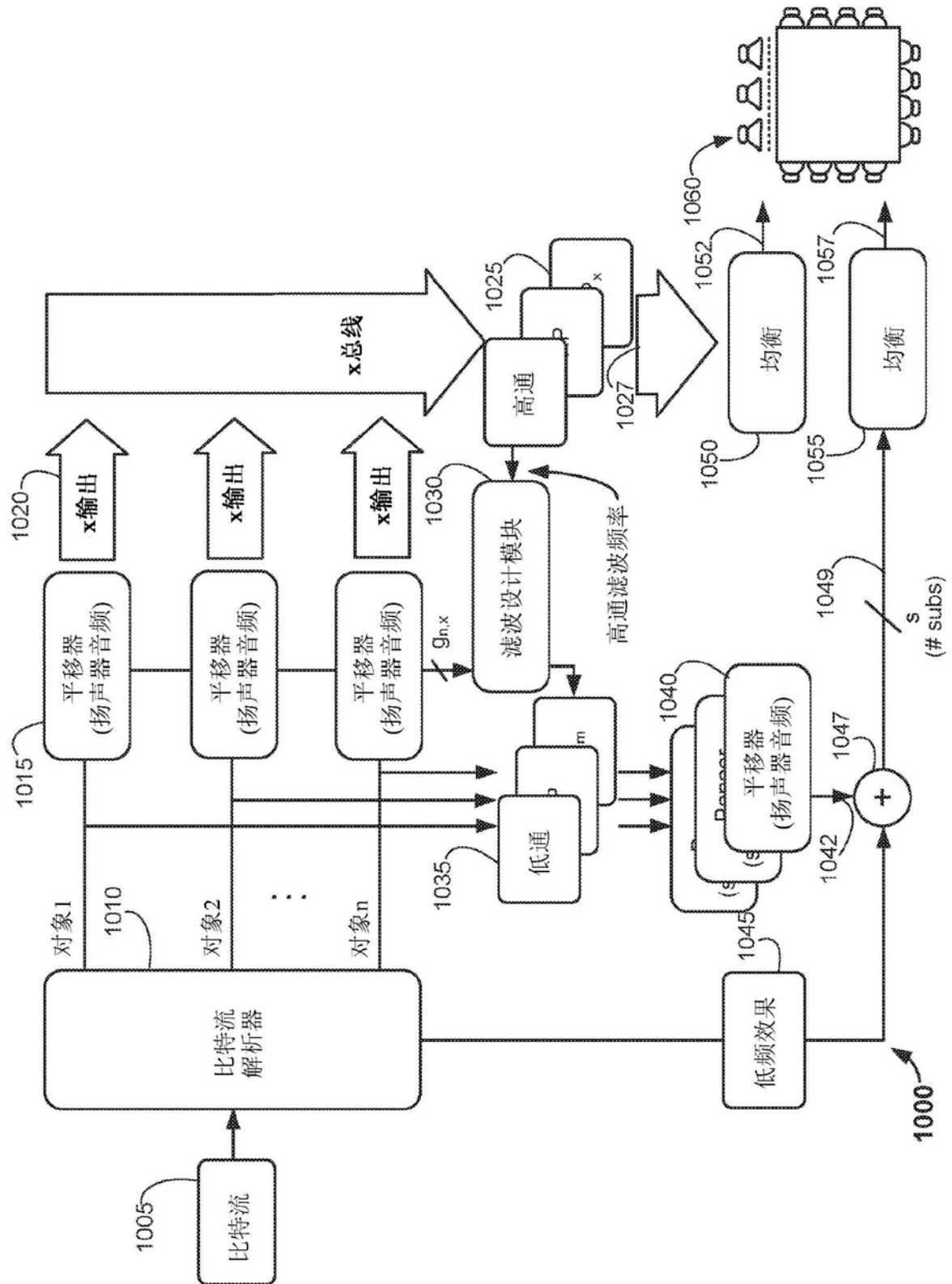


图10

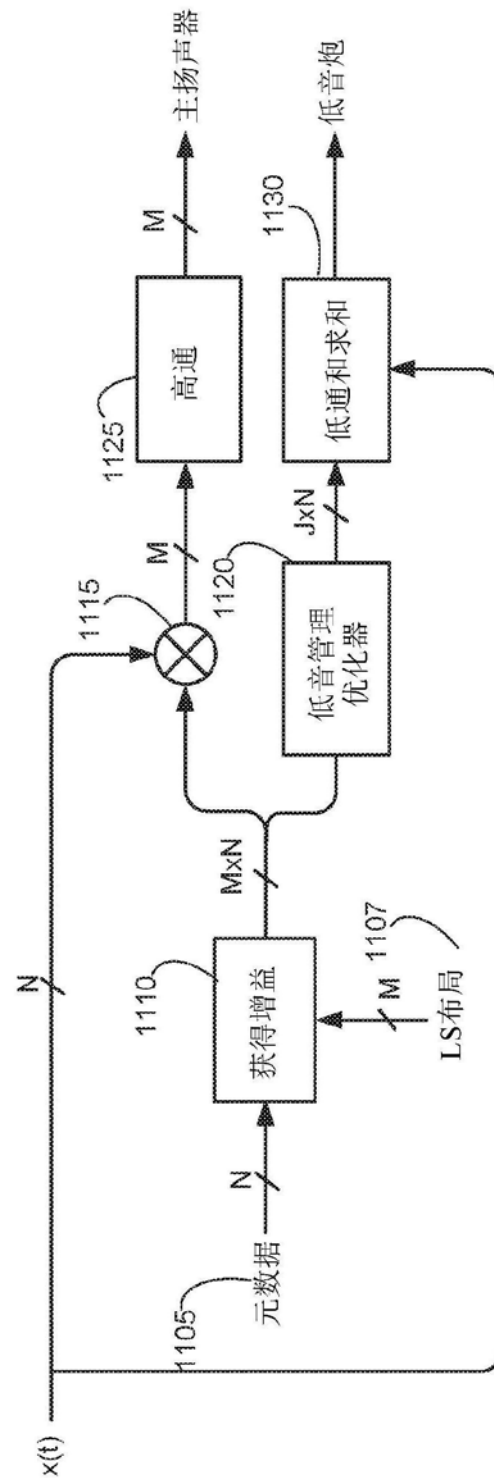


图11

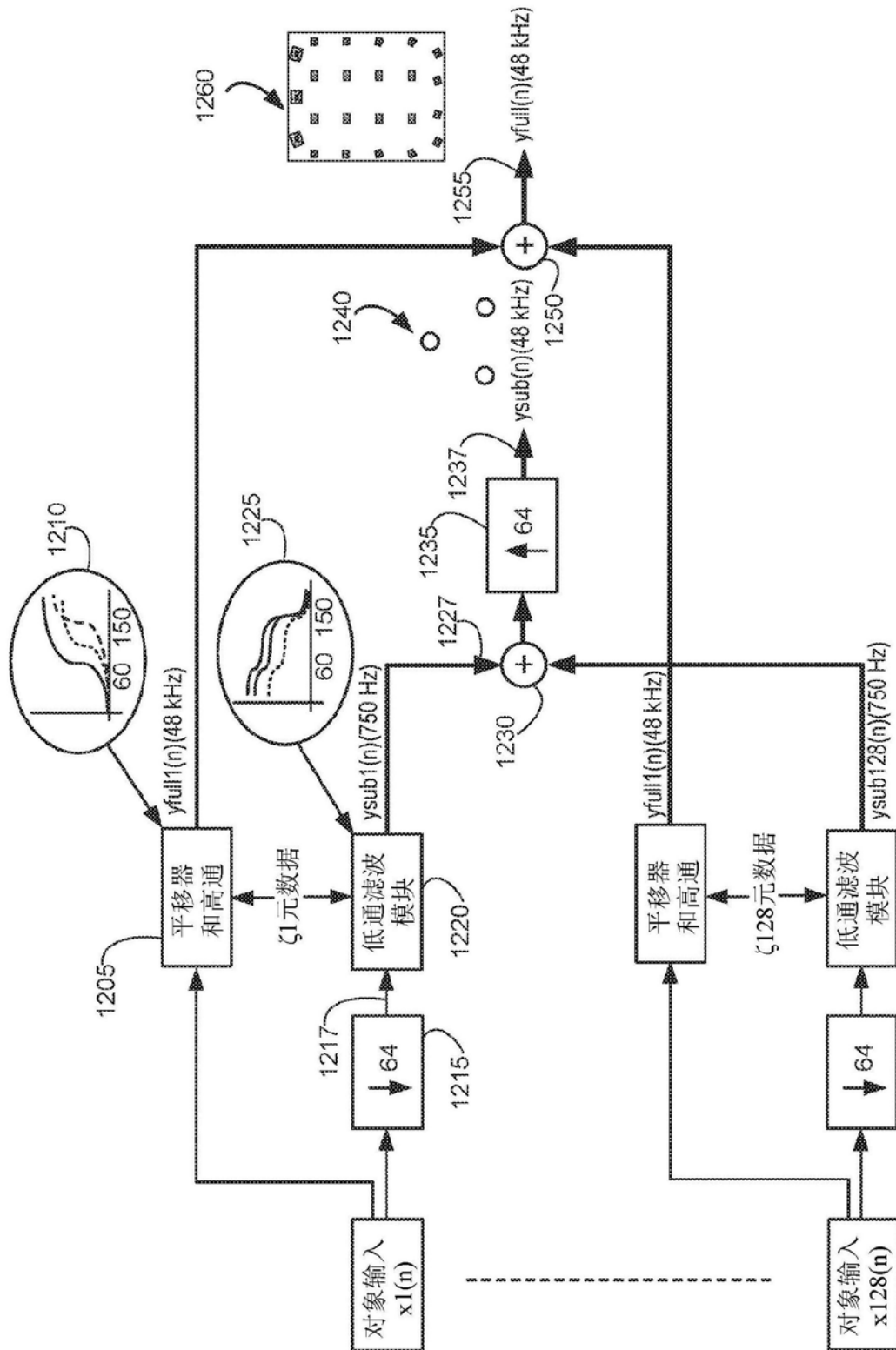


图12