



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102855882 A

(43) 申请公布日 2013. 01. 02

(21) 申请号 201210171270. X

(22) 申请日 2012. 05. 29

(30) 优先权数据

13/171, 476 2011. 06. 29 US

(71) 申请人 自然低音技术有限公司

地址 香港新界元朗大棠路99号, 蝶翠峰9座
2D室

(72) 发明人 曾永汉

(74) 专利代理机构 北京国昊天诚知识产权代理
有限公司 11315

代理人 许志勇

(51) Int. Cl.

G10L 21/0316(2013. 01)

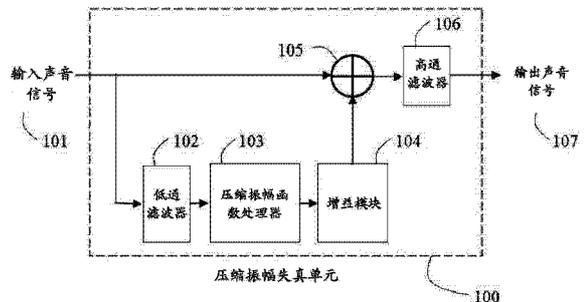
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 5 页

(54) 发明名称

低频声音分量的感觉增强

(57) 摘要

本发明涉及低频声音分量的感觉增强。一种压缩振幅失真单元,包括:低通滤波器,用于提取输入声音信号中的低频分量;压缩振幅函数处理器,用于通过仿真中耳响应的非线性函数,从低通信号中产生包含谐波的信号;增益模块,用于按比例缩放包含谐波的信号,使得按比例缩放的包含谐波的信号的信号强度与初始的低通信号的强度在相同范围中;加法器,用于将输入声音信号和按比例缩放的包含谐波的信号相加;以及高通滤波器,用于移除输出声音信号中的低通信号分量,而同时仍包含残留谐波。本发明还公开了两种利用在声音信号中缺少低频信号分量的反侵权方法,其中一种用于方便检测处理后的声音信号的未授权副本,另一种用于阻止人们制造这样的未授权副本。



1. 一种压缩振幅失真单元,用于处理输入声音信号以增强输入声音信号中低频信号分量的听觉,由此输出声音信号包含低频信号分量的残留谐波,并且输出声音信号中缺少低频信号分量,但是由于存在残留谐波,收听再生声音的听众仍能在心理上感觉该分量的存在,压缩振幅失真单元包括:

低通滤波器,用于提取输入声音信号中的低频信号分量,低频信号分量包括基本从 0Hz 至半响度频率的信号分量,所述低通滤波器产生低通信号;

压缩振幅函数处理器,用以基于低通信号作为输入,产生包含谐波的信号作为输出,所述压缩振幅函数处理器的输入-输出关系是仿真人类中耳响应的非线性函数,由此产生低频信号分量的残留谐波并形成包含谐波的信号的一部分;

增益模块,用于向包含谐波的信号提供增益,所述增益模块产生按比例缩放的包含谐波的信号,选择增益使得所述按比例缩放的包含谐波的信号的信号强度和初始的低通信号的信号强度的范围相同;

加法器,用于将输入声音信号和所述按比例缩放的包含谐波的信号相加,产生加法器输出;以及

高通滤波器,用于通过提取基本在半响度频率以上的加法器输出的频率分量来产生输出声音信号,由此在输出声音信号中移除低频信号分量而仍包括残留谐波。

2. 如权利要求 1 所述的压缩振幅失真单元,进一步包括延迟元件,用于在提供至加法器的所述按比例缩放的包含谐波的信号中引入延迟。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的压缩振幅失真单元,其中输入声音信号被表示为模拟电信号、数字信号或物理声波。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的压缩振幅失真单元,其中输入声音信号包括直流分量。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的压缩振幅失真单元,其中所述中耳响应的特征在于双边对数函数。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的压缩振幅失真单元,其中所述压缩振幅失真单元由硬件或软件实现。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的压缩振幅失真单元,其中半响度频率是可调整的。

8. 如权利要求 7 所述的压缩振幅失真单元,其中半响度频率可调整的范围在 150Hz 至 300Hz 之间。

9. 一种用于增强声音信号中低频部分的可感觉性的方法,所述方法包括:

提取所述声音信号中的低频信号分量;

通过非线性函数处理包含提取的分量的信号,以产生低频信号分量的残留谐波,其中所述非线性函数的输入-输出关系仿真人类的中耳响应;

调整非线性函数的输出信号的振幅,使得调整后的信号的功率和提供至非线性函数的信号的功率在相同的范围内;以及

将振幅被调整的信号加入至原始声音信号,然后将低频信号分量滤除,由此产生合成的信号,由于残留谐波的存在,所述合成的信号具有增强低频信号分量的可感觉性。

10. 如权利要求 9 所述的方法,其中所述声音信号以模拟电信号、数字信号或物理声波的形式表示。

11. 如权利要求 9 所述的方法,其中所述声音信号包括直流分量。

12. 如权利要求 9 所述的方法,其中所述中耳响应的特征在于双边对数函数。

13. 一种反侵权方法,用于将声音信号变换为可检测侵权的声音信号,使得在听众还可以感觉到声音信号的再生声音和可检测侵权的声音信号的再生声音基本相似的同时,可检测侵权的声音信号的未授权副本能够被方便地检测,所述反侵权方法包括:

通过权利要求 9 所述的方法产生可检测侵权的声音信号,其中合成的信号成为可检测侵权的声音信号;

由此在低音加重处理后,未授权副本的再生声音基本保持不变,使得未授权的版本能够被方便地检测。

14. 一种反侵权方法,用于向设备的模拟输出端提供声音信号,其中所述设备能够发出至少一个模拟声音信号,以及用于阻止人们通过记录所述模拟输出端存在的模拟输出信号来制造声音信号的未授权副本,所述反侵权方法包括:

按照权利要求 13 所述的方法从声音信号产生可检测侵权的声音信号;

将以一种形式原始地表示的可检测侵权的声音信号变换为等价的模拟形式;以及

向所述设备的模拟输出端提供等价模拟形式的可检测侵权的声音信号,使得所述可检测侵权的声音信号的等价模拟形式成为模拟输出信号;由此模拟输出信号中缺少低频信号分量使得通过低音增强装置进一步增强模拟输出信号的低音不能实现;由于不能实现进一步增强低音,阻止了人们记录模拟输出信号而制造未授权副本。

低频声音分量的感觉增强

技术领域

[0001] 本发明涉及声音信号的处理。尤其是,本发明涉及声音信号的修改,以至于即使在修改的声音中缺少低频部分(即低音部分)时,听众在听到修改的声音时,在心理上仍能感觉该低频部分的存在。

背景技术

[0002] 音乐是可以在剧场的舞台前现场欣赏。但是,更普遍的是,人们通过收音机,电视, DVD 家庭影院, MP3 播放器, 多媒体个人计算机等欣赏音乐。在这些娱乐设备中,将电信号转换为物理声波的传感器,例如扬声器,用于再生音乐。但是,音乐再生品的品质在低频部分通常很差,以至于在低音改进上一直存在需求。品质问题是由于电声传感器在空间和结构上的物理限制引起的。例如,管风琴(Werkprinzip)需要利用长度为32英尺(大约10米)的开口管以在16.35Hz产生C0音,这在Eargel, J. M., Music, Sound, and Technology, 第2版, Van Nostrand Reinhold, 1995中报道过,其公开文本并入这里作为参考。因此,在小教堂或一般的应用中很难满足好的低频再生的要求。

[0003] 在现有技术中存在一些技术,用以改进音乐再生设备的低频响应。在一个示例中,通过利用较粗,较硬并且被拉得稍松的琴弦来克服具有较短琴弦的小型钢琴再生C0音和其他低频音的困难。但是,这导致了一定程度的非谐波失真。在另一示例中,动圈式扬声器可以利用较强的磁场和低音反射管,以将其低频范围延伸至距其低频截止频率约1/3个八度音阶。该方法在商业产品中已经使用,例如TOA公司生产的型号为SW-46S-UL2的产品,其能够利用18英寸的低音扬声器和用低音反射设计来提供30Hz的低频响应。

[0004] 考虑到对于小教堂的管风琴来说,实现低音的费用和空间,使用了一种早在1700年代就已获知的称为“听觉低音”的技术。管风琴的制造商制造两个一起发音的管子,以获得更低的音符。例如,C4和G4管一起使用以获得C3音符。类似的方法也用于具有缩短琴弦的钢琴。

[0005] 注意在上述方法中,具有预计频率的声音是不存在的,但是听众仍可以感觉该频率的存在。这种现象称为残留音调效应,也被称为基音缺失现象。Moor, B. C. J., An Introduction to the Psychology of Hearing, 第5章,第4版, Academic Press, 1997, 提供了该现象的背景信息,其公开文本并入这里作为参考。基本上,残留音调效应是心理声学效应,其中即使是在基频缺失或者被其他噪音掩盖的情况下,听众仍可以如基频存在那样感觉音的残留音调(谐波)。残留音调效应已经用于US专利No. 5, 930, 373和US专利No. 6, 285, 767以增强低音,以致扬声器的低频截止频率的延长了1至1.5个八度音阶。

[0006] 在US专利No. 5, 930, 373中,公开了一种将低频信号分量的残留谐波引入声音信号的方法。在该方法中,声音信号被分为高频信号和低频信号。低频信号进一步被分为多个不同频带的信号分量。对于这些信号分量中的每一个,产生残留谐波。残留谐波被加权并增加至原始声音信号中。在产生残留谐波时,该参考文献建议使用非线性变换。

[0007] 在US专利No. 6, 285, 767中,公开了一种声音增强系统,用于增强对于声音信号中

低频信号分量的感觉。在该专利中,确认了下述事实,即低频信号分量可以引起由人耳的非线性产生的谐波。为了强调这些谐波的存在,使得原始的低频信号分量更容易被感觉,公开的声音增强系统通过有意降低中频的功率水平,从而降低在原始声音中的中频分量的重要性。

[0008] 在US专利No. 6, 410, 838中,公开了一种音乐信号合成器,用于合成谐波中丰富的复合音乐声波。通过反馈环的方法产生波形,并且利用简单的非线性将谐波引入信号中。

[0009] 但是,现有用于增强低音技术中仍需要考虑到人体生理学的改进方法。一方面,需要一种改进的方法,基于人耳的非线性响应来增强对低音频率的感觉。通过该改进的方法获得的具有低音增强的音乐所具有的优点是人类听起来更自然。相反,通过非基于人耳的方法增强的音乐感觉上显示更多人工化,更不自然。在另一方面,需要一种改进的方法,即允许在声音中移除低频信号分量,但听众仍能在心理上感觉到该低频信号分量的存在。低频信号分量的缺失暗示着由声音生成器实现的低音品质与再生的声音或音乐的品质无关。因此,可以使用更便宜的声音生成器,替代更昂贵的,增强低音的声音生成器,由此降低材料成本。并且,移除该信号分量可以避免人耳重复产生相同或类似的残留谐波,使得其能延长听众的重低音音乐的收听时间,而对耳朵的要求更少。最后,移除低频部分也是在收听低音内容时不损坏任何声音品质的同时,可对付通过对设备的模拟输出进行窃听原作声音信号的未授权副本。通过对设备的模拟输出进行窃听得到的声音信号的未授权副本的问题被称为模拟漏洞问题。

发明内容

[0010] 本发明公开了一种方法,其借助于仿真人类中耳响应的非线性函数,增强声音信号的低频部分的可感觉性。合成的声音信号并入了原始声音信号的低频信号分量的残留谐波。在将合成的声音信号再生成物理声波形式的时候,甚至当低频信号分量从合成的声音信号移除时,听众也可以感觉到低频部分。

[0011] 本发明进一步公开了多个压缩振幅失真单元,每个压缩振幅失真单元通过声音信号的低频部分的非线性失真,产生残留谐波,其中非线性失真的输入-输出关系基于人类的中耳响应。甚至当通过滤波移除低频部分时,由于产生的残留谐波,听再生声音的听众还可以感觉到原始的低频部分。

[0012] 另外,本发明公开了两种反侵权的方法,它们利用了在经过前述处理后,声音信号中缺少低频信号分量,一种方法用于方便检测处理过的声音信号为未授权副本,另一种方法用于阻止人们制造该未授权的副本。这些反侵权的方法用于对付模拟漏洞问题。

附图说明

[0013] 图1示出了与声音频率相关的等响线。

[0014] 图2示出了由中耳产生的压缩振幅失真。

[0015] 图3说明了向听众的耳朵提供并入残留谐波的声音的情况。

[0016] 图4描述了根据本发明的压缩振幅失真单元的结构图。

[0017] 图5描述了根据本发明另一方面的压缩振幅失真单元的结构图。

[0018] 图6示出了压缩振幅失真单元的应用。

[0019] 图 7 示出了压缩振幅失真单元的另外的应用。

[0020] 图 8 示出了压缩振幅失真单元的另一应用。

[0021] 图 9 示出了压缩振幅失真单元的进一步的应用。

具体实施方式

[0022] 人耳可以辨认输入声压水平 (SPL) 的振幅。图 1 是示出了与频率相关的等响线的图形。每条等响线指示相等的可感觉的响度与参考响度水平在 1kHz 的对比。图 1 显示了在可听觉的频带的两端存在非线性响应。从 1kHz 至 15kHz 的高频带显示了随着压力水平的增加,压力水平移动中的一致性较高。该移动独立于高频范围中的压力水平,并且除了在 110dB 和 120dB 的情况下,等响线仅在 ± 10 dB 区域内变化。但是,对于从 20Hz 至 300Hz 的低频带来说,图 1 指示因为所需的 SPL 在 1kHz 时是 10dB,但在 20Hz 增加至 78dB (68dB 的差异),人耳响应低频十分无效。然而,在很高声响水平下,该情况会较好。例如,在 1kHz 处的 100dB 声音对于 20Hz 的 128dB 声音来说具有相同的声响 (28dB 的差异)。因此,那个范围内可感觉的反应取决于频率和振幅,感觉的效率或灵敏度与输入振幅的水平成比例。

[0023] 在生理学中,人类听觉系统的结构由三个主要部分组成。外耳包括耳廓,外耳壳和外耳道。在外耳的端部是耳膜,其根据接收的声音振动,从而在中耳产生压力变化。中耳是从耳膜至卵圆窗由三个小骨头 (锤骨,砧骨,镫骨) 组成,用于将气压转换成内耳的流体运动。在内耳中,蜗牛壳型的耳蜗包括基膜,长度大约为 35mm,其一端附着至卵圆窗,平衡两端的流体压力,并且连接大约 30,000 个神经元。

[0024] 外耳具有简单的结构,包括耳廓,外耳壳和外耳道。外耳道直径仅有 2.5mm,类似于调谐的端口,以从空气中收集声音能量。其频率响应类似于带通滤波器,其中通带是从大约 1kHz 至 6kHz。在外耳道的端部是耳膜。整个外耳的响应与声音的不同强度水平无关。

[0025] 中耳 (从耳膜至卵圆窗) 的骨头将气压变换为内耳的流体运动。相对于耳膜的表面气压来说,卵圆窗的气压增加大约 20 至 30 倍,其中耳膜的表面面积比卵圆窗的表面面积大。在气压传送中,骨头不会放大气压或移动。相反,当很强低频范围声音进入 (大约 75dB SPL 以上) 时,锤骨和镫骨中的肌肉本能地收缩,用于衰减进入内耳的声音水平,该现象称为听觉反射。

[0026] 基膜是内耳的关键部分。其称为基点的一端紧挨着卵圆窗附着,被称为顶点的另一端在流体中自由悬浮。沿着基膜的神经传感器专门用于检测从基点的高频率至顶点的低频率中不同频率的声音能量。输入声音以和行波类似的方式从基点传播至顶点。基膜的每个位置仅响应于具有最大波幅的一个特有频率;该现象支持部位学说。在 Plack, C. J., *The Sense of Hearing*, Lawrence Erlbaum Associations, Inc., 2005 中描述了部位学说,其公开文本并入这里作为参考。虽然对于不同的输入水平和不同的频率来说感测十分非线性和复杂,但是至今没有证据表明检测强低频声音,用于支持我们对响度的感觉更有效。在存在非常强的低频声音时,部位学说不能解释基膜的每个位置的振动与特有频率无关,如 Plack 所述。

[0027] 在下面的描述中,将示出当强低频声音大约低于半响度频率时,中耳的失真将有助于增强低频声音感觉。这里使用的半响度频率是指听觉频率,在该频率处,人们感觉到,该听觉频率的响度水平是参考频率 (例如 1kHz) 的响度水平的一半。半响度频率取决于个

体。个体间差异的主要原因可能是心理而不是生理,正如 de Barbenza, C. M., Bryan, M. E. 和 Tempest, W., “Individual loudness functions,” *Journal of Sound and Vibration*, 11 卷, 399-419 页, 1970 年 4 月所报道的, 其公开文本并入这里作为参考。虽然, 半响度频率可以是任意频率, 但是经验法则是其通常在 150Hz 至 300Hz。源自进入中耳的强低频声音的失真类型被称为“压缩振幅失真”, 这是由于根据中耳的机制, 其限制了强输入声音的动态范围。该失真产生了基频的泛音 (overtone) 或残留谐波。人类听觉系统可以使用残留谐波序列的任意两个连续的谐波, 以感觉基频的存在。因此, 该失真所产生基频的附加信息, 在更大的响应带宽 (300Hz 至 5kHz 之间) 中, 以允许听众感觉更响的低频声音。

[0028] 图 2 说明了由中耳产生的压缩振幅失真。在外耳提供超过 75dB SPL, 且单频低于半响度频率的强低频声音。该未失真的声音传递至中耳。肌肉收缩以产生压缩振幅失真。该失真的声音传递至内耳, 用于频率解释。

[0029] 基于中耳使用的相同的机制, 即压缩振幅失真, 不管声音的低频部分强还是不强, 都可以仿真低频信号分量中残留谐波的产生。该用途如图 3 所示。如果产生的残留谐波不是有意在其提供至听众的外耳前增加至声音信号, 那么合成的声音将使得听众增加对于声音的低频部分的感觉。通过上述的基频缺失现象, 即使从声音中移除基频, 听众也可以感觉该低频分量的存在。在下文公开的实施例中使用了该感觉增强方法。

[0030] 本发明的第一实施例是用于增强声音信号的低频部分的可感觉性的方法。可选择地, 声音信号可包括直流 (DC) 分量。取决于应用, 声音信号可以表示为适合于该应用的恰当的形式。代表该声音信号的恰当的形式包括, 但不限于: 模拟电信号; 数字信号; 以及在介质, 例如空气中传播的物理声波。在公开的方法中, 声音信号的低频信号分量首先被提取。然后通过非线性函数处理包含该提取的信号分量的信号, 其中该非线性函数的输入-输出关系仿真人类中耳的响应。作为结果产生残留谐波, 并且并入非线性函数的输出信号。该输出信号也包含提取的低频信号分量。调整该输出信号的振幅, 使得调整后的信号的功率和提供至非线性函数的信号的功率在相同的范围中。然后将调整振幅的信号加入至原始声音信号, 随后滤除所有低频信号分量。对于合成的信号的低频部分, 获得感觉性的增强。即使从合成的信号中移除该部分, 听众仍能在再生的声音中感觉该低频部分的存在。

[0031] 非线性函数仿真中耳响应。 $w(u)$ 表示非线性函数对于输入 u 的输出, 以及 $f(x)$ 表示对于振幅为 x 的输入声音的中耳响应的振幅。如上所述, 不管声音的低频部分强还是不强, 目的都是产生非线性函数的残留谐波。因此, $w(u)$ 设定为:

$$[0032] \quad w(u) = A \cdot f(u/B) \quad (\text{方程 1})$$

[0033] 其中 A 是确定非线性函数的输出范围的因数, B 是确定输入值 u 的另一个因数, 其中非线性失真是显著的, 并产生残留谐波。 A 的值为非线性函数提供增益, 因此不影响 u 的范围, 其中出现显著的非线性失真。根据, 例如连接至该非线性函数的后处理函数可接受的输出值的范围, 来确定。通过下述示例说明 B 的确定。假设对于 75dB SPL (对应于 $x = 10^{75/20} \times$ 阈值声压) 的输入声压来说, 在中耳中产生残留谐波。现在目的是在参考条件 $u = 1$ 的情况下, 由非线性函数产生残留谐波, 该参考条件对应于输入声压是 30dB SPL 的条件。然后 B 设定为 $B = 10^{-75/20}$ 。

[0034] 用于形成非线性函数输入-输出关系的中耳响应可以通过实验方法来确定, 例如由 Aerts, J. R. M 和 Dirckx, J. J. J., “Nonlinearity in eardrum vibration as a function

of frequency and sound pressure,"Hearing Research, 263 卷, 26-32 页, 2010 给出的方法来确定, 其公开文本并入这里作为参考。

[0035] 作为替换, 中耳响应可以通过理论方法由数学公式确定。从方程 1 中可以看出非线性函数与中耳响应的区别仅在于因数和输入的缩放比例。接下来, 除物理的中耳响应之外, 非线性函数也可以从原型的中耳响应获得, 其嵌入了物理响应的实质特征, 即压缩振幅失真, 但是在某些参考情况下, 例如 $x = 1$, 展示了该失真。首先观察到声音的振幅可以为正值或负值, 这取决于作用在中耳上的声波力的方向。因此, 为原型的中耳响应建立模型的函数是具有对称属性的双边函数。因此, $f(x)$ 设定为

$$[0036] \quad f(x) = \begin{cases} g(x) & \text{if } x \geq 0 \\ -g(-x) & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (\text{方程 2})$$

[0037] 其中 $g(x)$, 对于 x 为正或零时, 是非负函数。由于当引入的声音信号很强时, 锤骨和镫骨上的肌肉收缩以减少声音水平, 因此, 压缩声音振幅。该压缩暗示着 $g(x)$ 展示了该压缩属性。也就是说, $g(x)$ 的斜率或陡度随着 x 增加而降低。适用于 $g(x)$ 的函数包括下述示例。一个示例是削波函数 (clipping function), 其中 $g(x)$ 设定为

$$[0038] \quad g(x) = \begin{cases} x & \text{for } 0 \leq x \leq 1 \\ 1 & \text{for } x \geq 1 \end{cases}$$

[0039] 其中 $x = 1$ 是削波出现的参考条件。另一个示例是 $g(x)$ 通过反正切函数设定, 即,

$$[0040] \quad g(x) = \arctan(x),$$

[0041] 再一个示例基于指数函数:

$$[0042] \quad g(x) = 1 - \exp(-x).$$

[0043] 另外的示例是对数函数, 即,

$$[0044] \quad g(x) = \ln(1+x) \quad (\text{方程 3})$$

[0045] 其中 \ln 是自然对数函数。尤其是, 按照下述解释, 利用方程 3 给出的函数是有利的。将 $\ln(1+x)$ 扩展为无穷级数, 产生

$$[0046] \quad \ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \frac{x^5}{5} - \dots$$

[0047] 它表示由输入 x 产生的相邻的残留谐波是异相的, 彼此相位相差 180 度。不管残留谐波仅以奇数, 偶数或是以整个整数阶出现, 连续的残留谐波所具有的交替的异相形式具有下述优点:

[0048] 1. 在残留谐波和原始复合的声音信号混合后, 可以获得最小的光谱能量增量。

[0049] 2. 尤其是对于高频谐波来说, 听觉神经的锁相环机制很容易区分相邻的谐波。对于锁相环机制的解释, 参见 Plack, 其并入作为上述参考。

[0050] 3. 如果沿着基膜, 且具有频率样板的图形匹配机制对于听觉神经起作用, 那么两个或三个连续的谐波对于检测复音的基频来说足够 (如 Moor 中报道); 其得到锁相环机制的帮助。

[0051] 4. 如果基频和其谐波频率低于半响度频率, 那么其产生合理的合成的残留谐波。

[0052] 这里, 具有方程 2 设定的 $f(x)$ 的中耳响应是指特征为双边对数函数的中耳响应, 其中 $g(x)$ 由方程 3 给定。

[0053] 本发明的另外的实施例是压缩振幅失真单元及其变形。

[0054] 通过图 4 说明了这里公开的压缩振幅失真单元。压缩振幅失真单元 100 处理输入声音信号 101 并产生输出声音信号 107。输入声音信号 101 由低通滤波器 102 处理,以如下方式产生低通信号:低通信号的低频分量基本是从 0Hz 至半响度频率。因此,低通信号包含输入声音信号 101 的多个低频信号分量。低通信号由压缩振幅函数处理器 103 处理,该处理器使用仿真人类中耳响应的非线性函数。由于非线性,处理器 103 产生用于输入声音信号的多个低频信号分量的残留谐波。一些残留谐波扩展至 300Hz 至 5kHz 的更容易被听到的区域。该实施例的一个特征是压缩振幅函数处理器 103 的输入-输出关系仿真人类中耳的响应。压缩振幅函数处理器 103 的输出是包含谐波的信号。应当注意,包含谐波的信号包含的不仅是残留谐波,而且包含多个原始低频信号分量,该分量的功率水平典型地不同于低通信号。然后增益模块 104 用于向包含谐波的信号提供增益,由此产生按比例缩放的包含谐波的信号。选择该增益使得按比例缩放的包含谐波的信号的信号强度和低通信号的强度在相同的范围。按比例缩放的包含谐波的信号和输入声音信号 101 一起由加法器 105 相加以产生加法器输出。该加法的目的是将残留谐波引入输入声音信号。虽然加法器输出包含输入声音信号 100 的原始低频分量的两个副本,但是这两个低频分量由高通滤波器 106 移除。该高通滤波器 106,接收加法器的输出作为输入,并在输出中仅保留基本超过半响度频率的频率分量,例如来自处理器 103 的增加的谐波。移除原始低频分量的目的是四个。第一,它避免在中耳中,从原始的低频分量产生相同或类似的残留谐波,例如由处理器 103 所增加的;相同或类似残留谐波的存在会使得听众对声音感觉不舒服。作为另一个优点,因为耳朵得以从为产生残留谐波而需要将其肌肉收缩中解脱出来,听众可以欣赏重低音音乐更长时间。第二,移除低频分量意味着声音信号的任何后处理,例如用于驱动扬声器的功率放大,耗电更少,由此可以为许多功率敏感的电子器件,例如便携式音乐播放器提供实际的优势。第三,移除低频分量暗示着不必使用昂贵的低音增强型声音生成器以产生声音,以至于可以使用更便宜的声音生成器,这样减少了成本。第四,虽然移除低频部分也是用于对付模拟漏洞问题的方法,但这在收听低音内容时不需要牺牲任何声音品质。高通滤波器 106 的输出是输出声音信号 107。

[0055] 图 5 示出了前述压缩振幅失真单元的变形。单元 200 处理输入声音信号 201,并产生输出声音信号 208。低通滤波器 202、压缩振幅函数处理器 203、增益模块 204、加法器 206 和高通滤波器 207 分别执行它们在压缩振幅失真单元 100 中对应的部分 102、103、104、105 和 106 基本类似的功能。引入延迟元件 205,用于处理增益模块 204 的输出。延迟元件 205 的目的是延迟残留谐波分量,以仿真中耳的肌肉响应时间。延迟元件 205 的输出发送至加法器 206。

[0056] 对于任何公开的压缩振幅失真单元来说,输入声音信号可以选择地包含 DC 分量,或者不包含。输入声音信号可以用适合该应用的恰当的形式代表。例如,可以是表示为一系列比特的数字信号;声音信号也可以表示为模拟电信号;或者声音信号是声波形式的物理信号。由此,这里公开的任何压缩振幅失真单元可以由数字信号处理器中的软件实现,或者由具有模拟电子器件的硬件实现,或者由声学设备的机器实现。并且,在实现这里公开的任何压缩振幅失真单元时,由于半响度频率取决于听众对响度的感觉,所以可以使得半响度频率是适应的。在一个示例中,半响度频率在 150Hz 至 300Hz 的范围中是可调整的。在实现压缩振幅函数处理器时,人们可以有选择地选择特征在于双边对数函数的中耳响应。

[0057] 通过图 6-9 中示出的实施例,说明公开的压缩振幅失真单元的应用。

[0058] 在实际应用中,压缩振幅失真单元是信号处理单元,其能够级联至任何预处理或后处理声音功能,例如响度控制,均衡化,音控,放大等。并且,它可以用于多通道环境,例如立体声,5.1、6.1、7.1 通道等。

[0059] 在图 6 中,示出了具有模拟功率放大器 305 的传统的声音系统。数字音频源 301 可以从 CD, DVD, 大容量存储设备, 存储卡, 因特网, 广播网络等获得的压缩的音频文件或者 A/V(音频视频)/多媒体文件等。系统集成芯片 307 运行软件或使用硬件以处理压缩的信号,例如 302 所示的,解码信号,引入声音效果等。压缩振幅失真单元 303,由数字电路实现,也可以在芯片 307 内部实现。数模转换器 304 将数字信号转换为模拟形式,用于模拟功率放大器 305 的放大。然后放大器 305 驱动电声传感器 306,例如耳机,扬声器等,以产生供听众欣赏的物理声音。

[0060] 图 7 示出了图 6 的系统的变形。压缩振幅失真单元 404 由模拟电路实现,并处理数模转换器 403 的输出信号,其中该数模转换器在系统集成芯片 407 中实现。压缩振幅失真单元 404 的输出用于驱动模拟功率放大器 405。

[0061] 图 8 示出了另一个示例。该声音系统将压缩振幅失真单元 503 并入系统集成芯片 506,并使用数字功率放大器 504,以无需使用数模转换器。该压缩振幅失真单元 503 以数字电路形式实现。该系统集成芯片 506 的数字信号输出可以直接发送至数字功率放大器 504,其输出驱动电声音传感器 505。

[0062] 图 9 中示出的系统是图 8 中描述的变形。压缩振幅失真单元 603 由数字电路实现,并且处理来自系统集成芯片 606 的数字信号。压缩振幅失真单元 603 的数字输出用于驱动数字功率放大器 604。

[0063] 本发明的进一步实施例是两种反侵权的方法,其利用了通过第一实施例中公开的方法处理后,声音信号中缺少低频信号分量的属性。

[0064] 这里公开的第一种反侵权的方法是将声音信号变换为可检测侵权的声音信号,使得在听众还可以感受到声音信号的再生声音和可检测侵权的声音信号的再生声音基本相似的同时,可检测侵权的声音信号是未授权副本可以被方便地检测。第一种反侵权的方法通过使用本发明第一实施例公开的方法处理声音信号,其处理声音信号中已包含产生可检测侵权的声音信号的步骤。由于在可检测侵权的声音信号中缺少低频信号分量,因此,在由传统的低音加重设备,例如录音机卡带播放器中的低音加重滤波器进行低音加重处理后,可检测侵权的声音信号的未授权副本的再生声音保持不变。该属性能够方便检测未授权的副本。

[0065] 这里公开的第二种反侵权的方法是向设备的模拟输出端提供声音信号,其中该设备例如为便携式声音播放器和多媒体播放体,能够发出至少一个模拟声音信号,且阻止人们通过记录在该模拟输出端产生的信号制造声音信号的未授权副本。下文中,该模拟输出端产生的信号是指模拟输出信号。在该方法中,第一步是通过上述公开的第一种反侵权方法,从声音信号产生可检测侵权的声音信号。由于这样产生的可检测侵权的声音信号可以以任何一种形式表示,例如数字形式,模拟形式,或物理声波形式,因此,该可检测侵权的声音信号可以变换为等价的模拟形式。在由第一种反侵权方法产生的可检测侵权的声音信号已经是模拟形式的情况下,变换为等价形式意味着等价的模拟形式仅为该可检测侵权的声

音信号。然后,向该设备的模拟输出端提供可检测侵权的声音信号的等价模拟形式,从而产生模拟输出信号。由于模拟输出信号没有任何低频信号分量,因此,通过低音增强装置,例如低音加重滤波器,来进一步增强该信号低音的努力是徒劳的。想要欣赏出众音乐的人们会把不能进一步增强低音的缺陷视为一种缺点甚至是对自己的惩罚,因此,这样可以阻止人们记录模拟输出信号而制造未授权副本。

[0066] 本发明可以在不脱离其精神和实质特点的情况下,以其他特定方式实现。因此,本发明在所有方面被认为是示意性的而不是限制性的。本发明的保护范围由后附的权利要求,而不是前面的描述指示,所有落入权利要求等价含义和范围内的变化都被包括在其中。

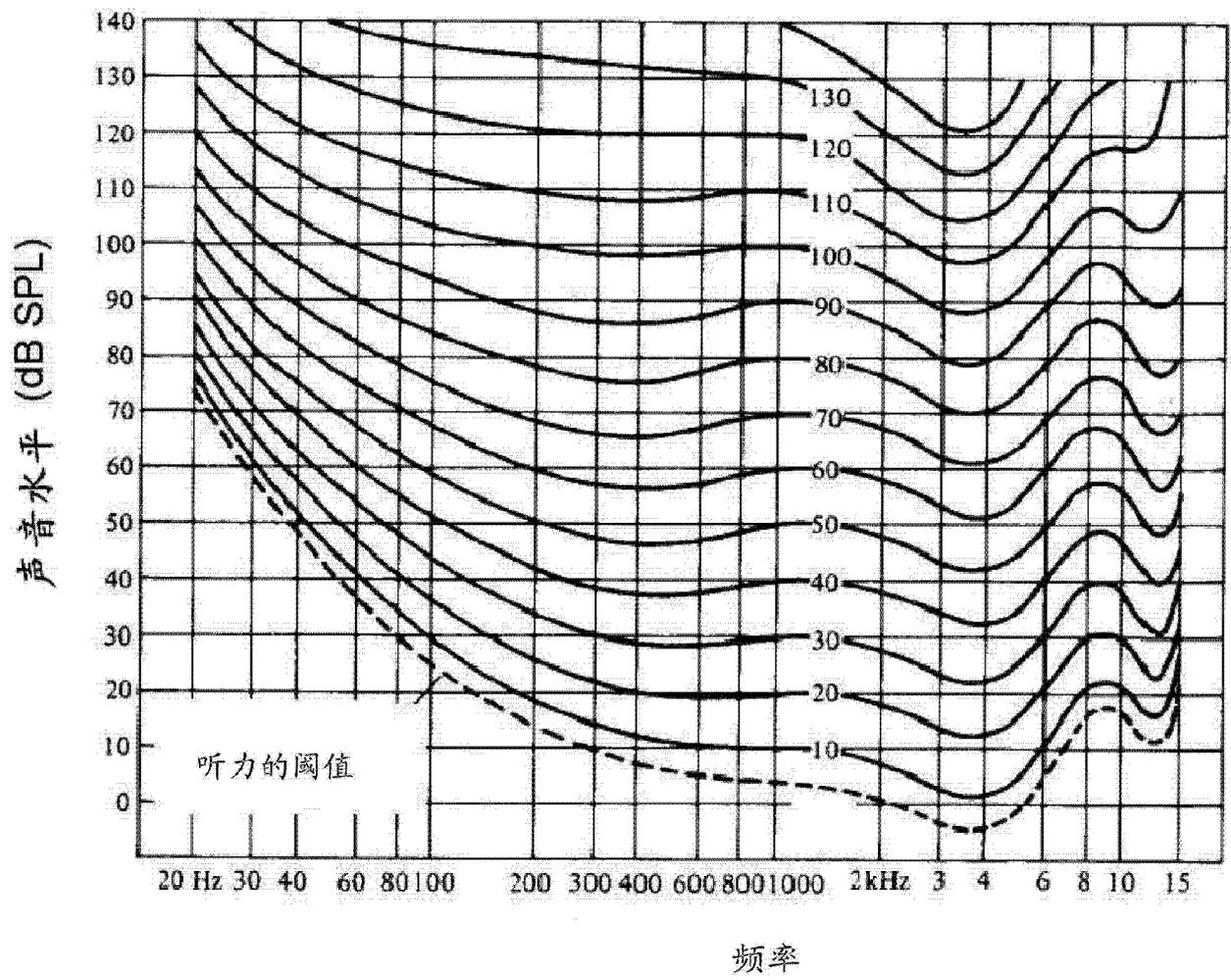


图 1

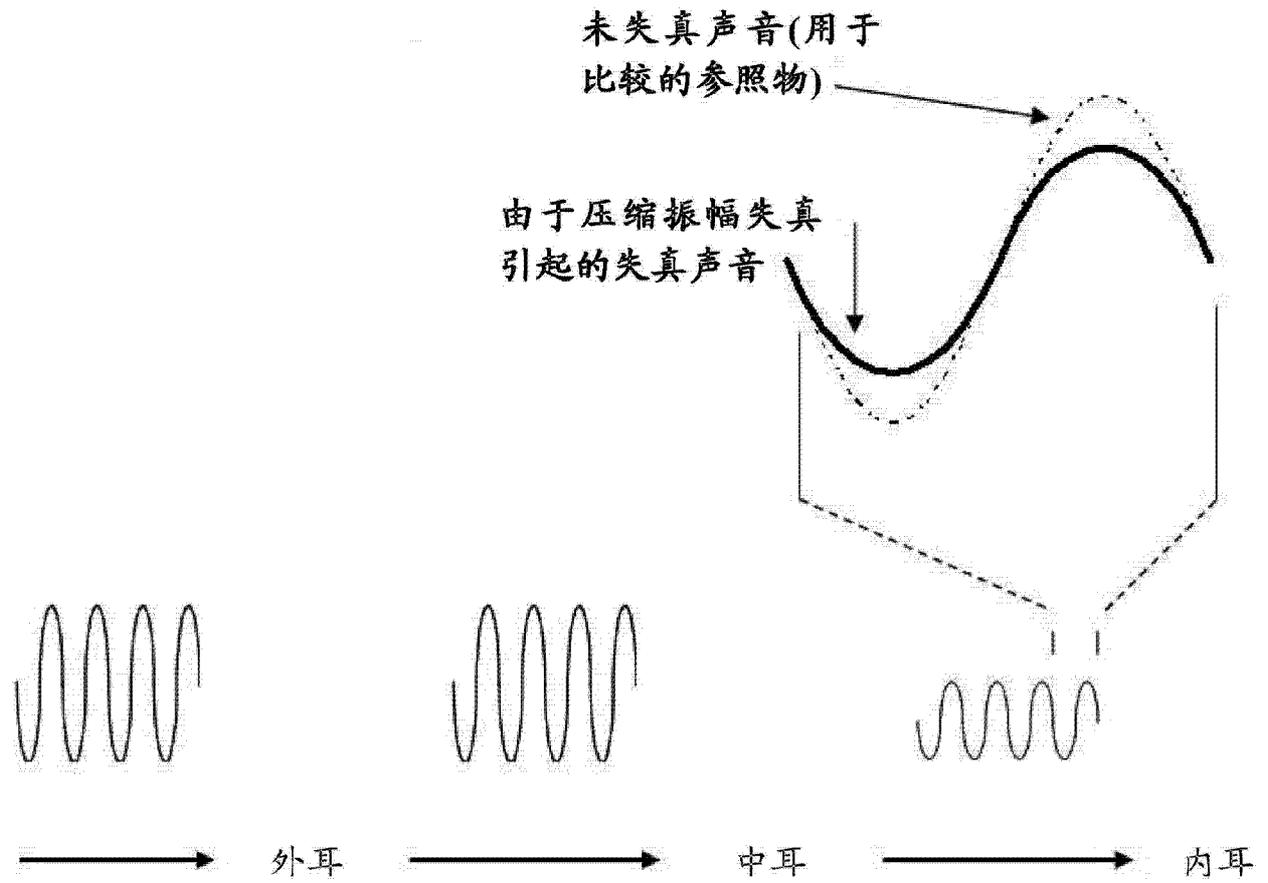


图 2

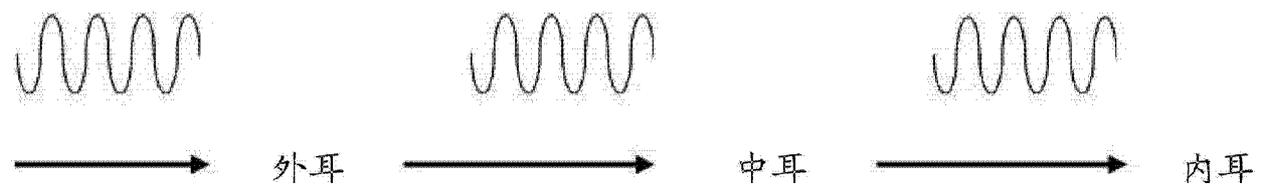


图 3

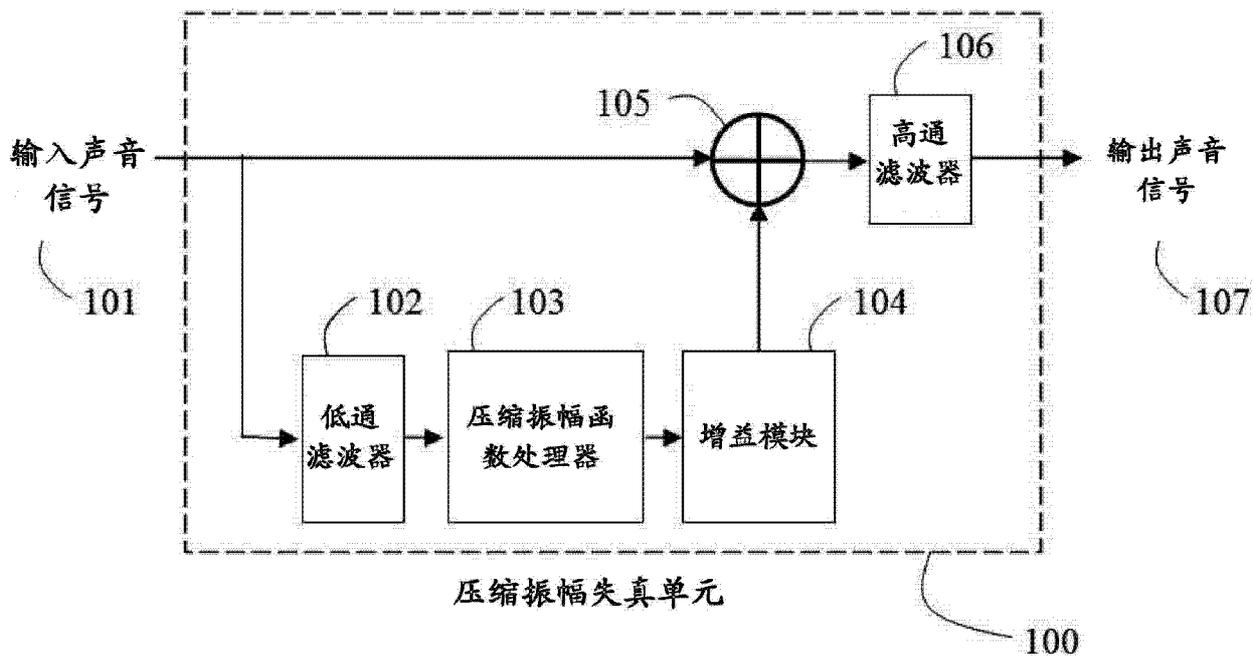


图 4

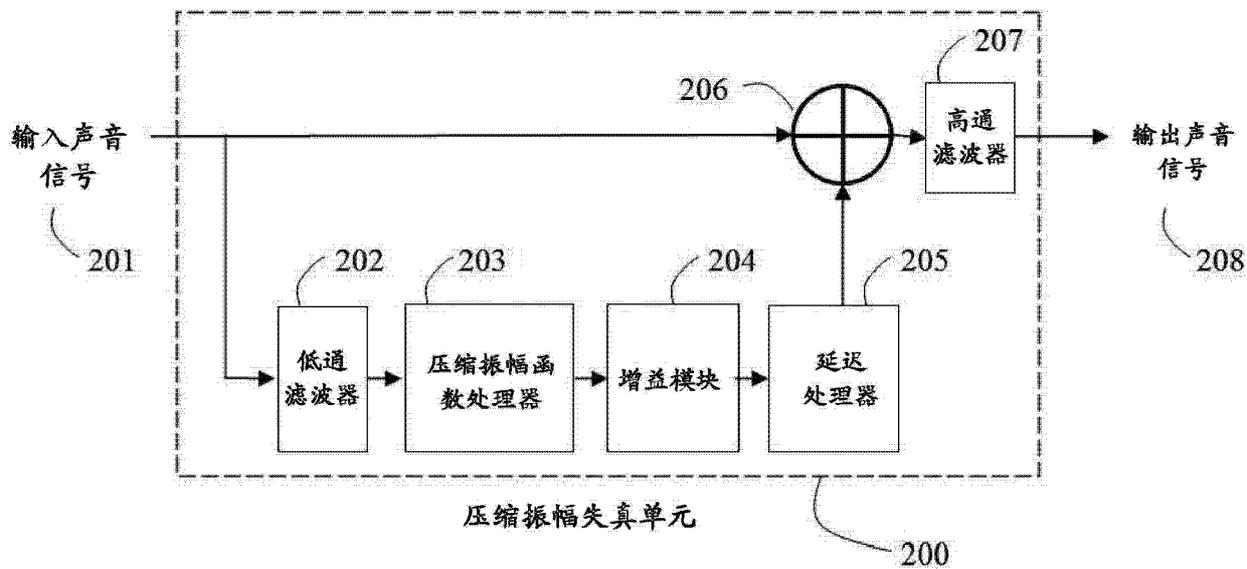


图 5

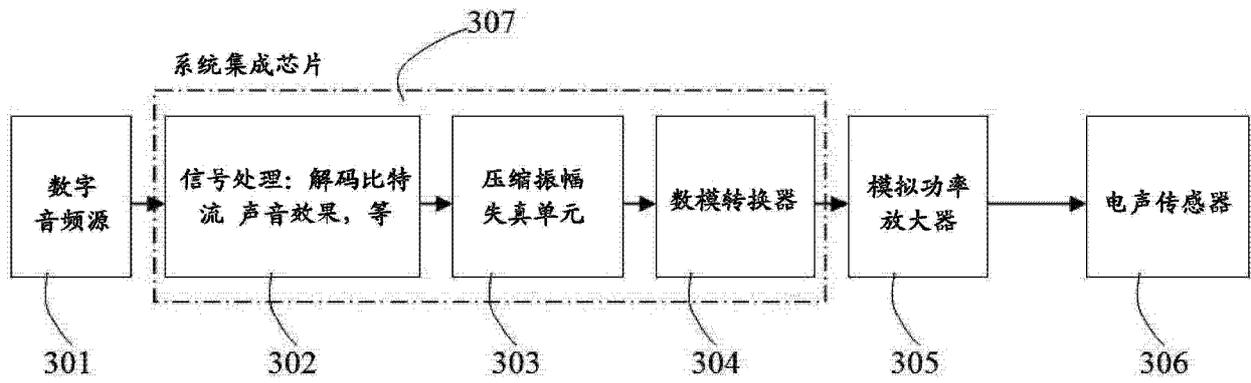


图 6

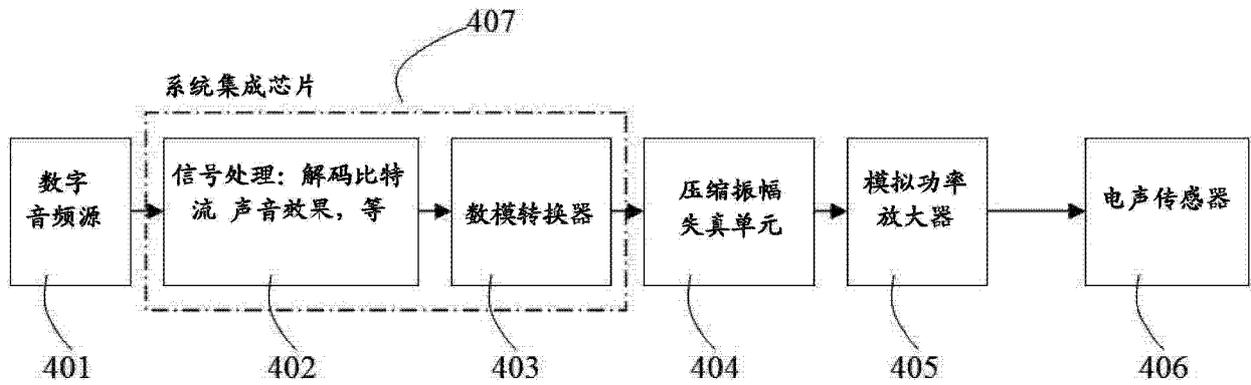


图 7

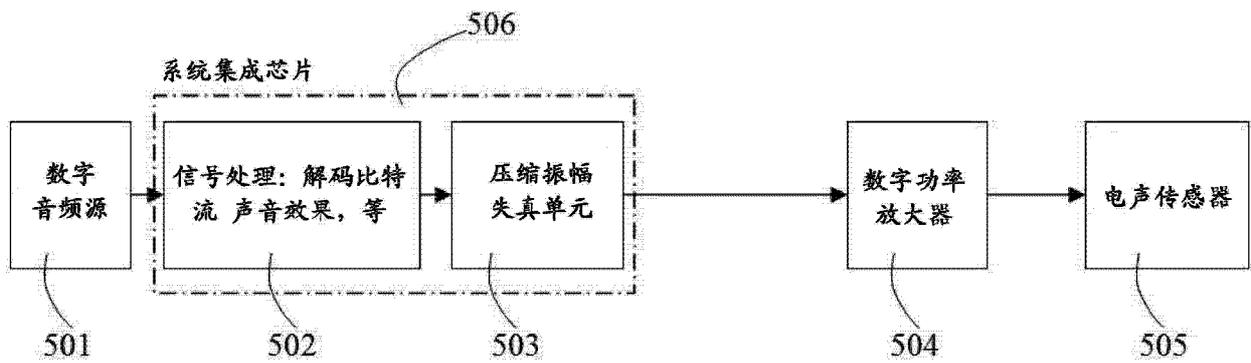


图 8

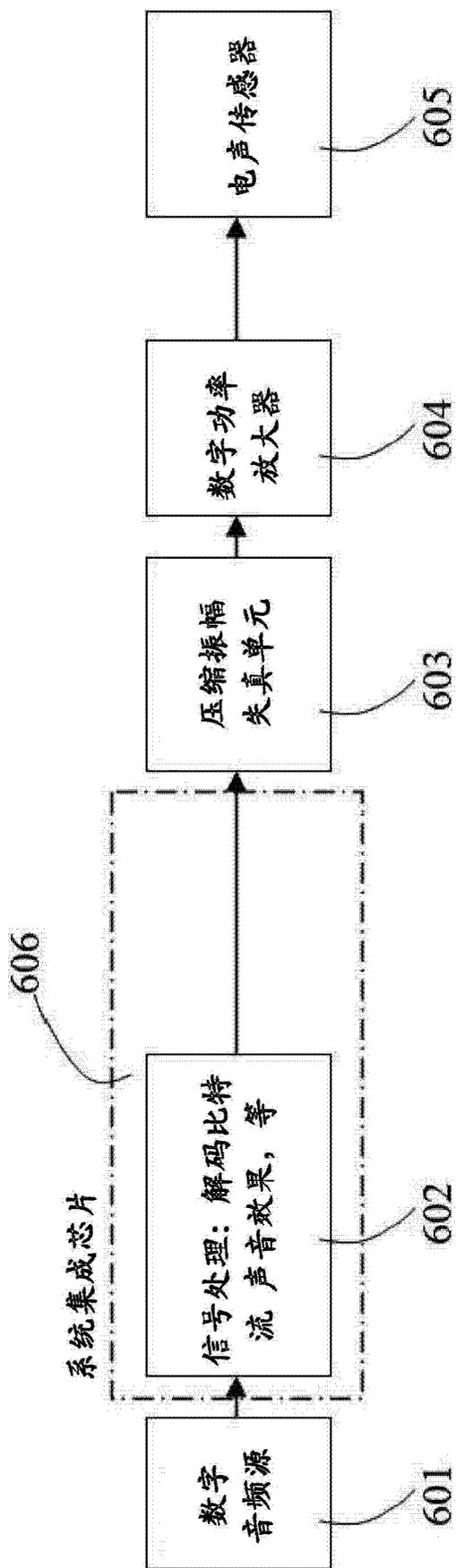


图 9