

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101351836 B

(45) 授权公告日 2012. 09. 05

(21) 申请号 200780001038. 9

(22) 申请日 2007. 07. 27

(30) 优先权数据

11/462, 496 2006. 08. 04 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 03. 27

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/074618 2007. 07. 27

(87) PCT申请的公布数据

W02008/019231 EN 2008. 02. 14

(73) 专利权人 伯斯有限公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 W·贝拉尔迪 E·J·弗里曼

M·W·斯塔克

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华

(51) Int. Cl.

G10K 11/34 (2006. 01)

H04R 1/40 (2006. 01)

(56) 对比文件

WO 99/08479 A1, 1999. 02. 18,

WO 2005/086526 A1, 2005. 09. 15,

US 2005/0063555 A1, 2005. 03. 24,

US 4991687, 1991. 02. 12,

EP 1670282 A1, 2006. 06. 14,

CN 1636420 A, 2005. 07. 06,

审查员 刘子菡

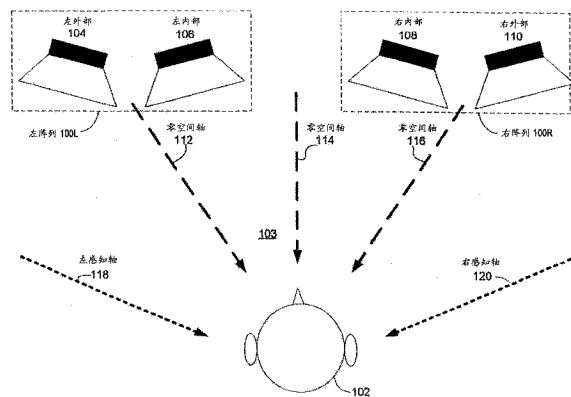
权利要求书 4 页 说明书 8 页 附图 12 页

(54) 发明名称

声学换能器阵列信号处理

(57) 摘要

一组滤波器，配置用于将表示单个感知轴的输入信号分布到扩音器的物理上分离的第一和第二阵列，该阵列包括至少第一和第二换能器，使得当输入信号在第一频率和第二频率之间时，扩音器的阵列将创建对应于输入信号的阵列模式。



1. 一种用于处理声学换能器阵列信号的装置,所述装置包括:  
第一和第二阵列 (100L, 100R) 的换能器 (104, 106 ; 108, 110) ; 以及  
滤波器 (202, 304, 306, 310, 312, 314, 402, 404, 504, 506, 514), 对输入信号 (204, 502) 进行操作, 从而提供输出信号和交叉馈送信号到所述第一和第二阵列 (100L, 100R) 的换能器 (104, 106 ; 108, 110), 使得
  - (a) 所述第一阵列 (100L) 的多个换能器 (104, 106) 的组合, 在第一频率范围中产生破坏性干扰, 所述第一频率范围包括对应波长大于所述第一阵列 (100L) 中所述换能器 (104, 106) 之间间隔的两倍的频率范围 ;
  - (b) 所述第一阵列 (100L) 的多个换能器 (104, 106) 的组合在第二频率范围中不产生破坏性干扰, 所述第二频率范围包括对应波长大于所述第一和第二阵列 (100L, 100R) 之间间隔的两倍的频率范围 ; 以及
  - (c) 所述第一阵列 (100L) 的第一换能器 (104, 106) 和所述第二阵列 (100R) 的第一换能器 (108, 110) 的组合在所述第二频率范围中产生破坏性干扰。
2. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中所述第一频率范围中频率的范围还是对应波长小于所述第一和第二阵列 (100L, 100R) 之间间隔的两倍的频率范围。
3. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中所述第一频率范围包括大约 1kHz 和大约 3kHz 之间的频率。
4. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中所述第二频率范围包括大约 1kHz 以下的频率。
5. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中所述滤波器包括:  
串联的反相低通滤波器 (202) 和高通滤波器 (310), 它们提供输出信号到所述第一阵列 (100L) 的第一换能器 (104, 106) ; 以及  
全通滤波器 (302), 其相位匹配于所述高通滤波器 (310) 并且提供输出信号到所述第一阵列 (100L) 的第二换能器 (104, 106)。
6. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中所述滤波器使去往所述第一阵列 (100L) 的第一换能器 (104, 106) 的输出信号相对于去往所述第一阵列 (100L) 的第二换能器 (104, 106) 的输出信号发生延迟。
7. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中当所述输入信号处于所述第一频率范围中时, 所述滤波器衰减去往所述第二阵列 (100R) 的换能器 (108, 110) 的交叉馈送信号。
8. 根据权利要求 7 所述的装置, 其中所述滤波器包括:  
低通滤波器 (306), 提供交叉馈送信号到第二阵列 (100R) ; 以及  
全通滤波器 (304), 其相位匹配于所述低通滤波器 (306) 并且提供输出信号到所述第一阵列 (100L)。
9. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中所述滤波器包括:  
反相低通滤波器 (306), 提供交叉馈送信号到所述第二阵列 (100R) ; 以及  
全通滤波器 (304), 其相位匹配于所述反相低通滤波器 (306) 并且提供输出信号到所述第一阵列 (100L)。
10. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中  
当所述输入信号处于所述第二频率范围中时, 所述滤波器衰减去往所述第一阵列 (100L) 的第二换能器 (104, 106) 的输出信号。

11. 根据权利要求 10 所述的装置,其中所述滤波器包括:  
第一高通滤波器(310),提供输出信号到所述第一阵列(100L)的第二换能器(104,106);  
第一全通滤波器(302),其相位匹配于所述高通滤波器(310),并且提供输出信号到所述第一阵列(100L)的第一换能器(104,106);以及  
第二全通滤波器(314),其相位匹配于所述第一全通滤波器(302),并且提供交叉馈送信号到所述第二阵列(100R)的第一换能器(108,110)。
12. 根据权利要求 11 所述的装置,其中所述滤波器还包括:  
第二高通滤波器(312),提供交叉馈送信号到所述第二阵列(100R)的第二换能器(108,110),并且相位匹配于所述第二全通滤波器(314)。
13. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述滤波器还提供输出信号和交叉馈送信号到所述第一和第二阵列(100L,100R)中的换能器(104,106;108,110)使得  
(d) 在第三频率范围中不产生破坏性干扰,所述第三频率范围包括对应波长小于所述第一阵列(100L)中换能器(104,106)之间间隔的两倍的频率范围。
14. 根据权利要求 13 所述的装置,其中所述第三频率范围包括大约 3kHz 以上的频率。
15. 根据权利要求 13 或 14 所述的装置,其中所述滤波器包括:  
低通滤波器(202),提供输出信号到所述第一阵列(100L)的第二换能器(104,106)。
16. 根据权利要求 13 或 14 所述的装置,其中所述滤波器还配置用于当所述输入信号处于所述第三频率范围中时衰减去往所述第二阵列(100R)的换能器(108,110)的交叉馈送信号。
17. 根据权利要求 16 所述的装置,其中所述滤波器包括:  
第一低通滤波器(202),提供输出信号到所述第一阵列(100L)的第二换能器(104,106);  
第二低通滤波器,提供交叉馈送信号到第二阵列(100R);以及  
全通滤波器,其相位匹配于所述第二低通滤波器,并且提供输出信号到所述第一阵列(100L)。
18. 根据权利要求 17 所述的装置,其中所述滤波器包括  
第一全通滤波器,其提供输出信号到所述第一阵列(100L)的第一求和输入,  
第二全通滤波器(302),其提供输出信号到所述第一阵列(100L)的第一换能器(104,106)的输入,  
串联的第一低通滤波器(202)和第一高通滤波器(310),提供输出信号到所述第一阵列(100L)的第二换能器(104,106)的第一求和输入,  
第二低通滤波器(404),其提供输出信号到所述第一阵列(100L)的第二换能器(104,106)的第二求和输入,  
第三低通滤波器,其提供交叉馈送信号到所述第二阵列(100R)的第一求和输入,  
第三全通滤波器(314),其提供交叉馈送信号到所述第二阵列(100R)的第一换能器(108,110)的输入,  
串联的第四低通滤波器(514)和第二高通滤波器(312),提供交叉馈送信号到所述第二阵列(100R)的第二换能器(108,110)的第一求和输入,以及

第五低通滤波器 (402), 其提供交叉馈送信号到所述第二阵列 (100R) 的第二换能器 (108, 110) 的第二求和输入。

19. 根据权利要求 18 所述的装置, 其中滤波器还包括

第六低通滤波器 (506), 其提供交叉馈送信号到所述第一阵列 (100L) 的第二求和输入;

第四全通滤波器 (504), 其提供输出信号到所述第二阵列 (100R) 的第二求和输入; 并且其中第一信号输入耦合到所述第一全通滤波器和所述第三低通滤波器, 以及第二信号输入耦合到所述第四全通滤波器 (504) 和所述第六低通滤波器 (506)。

20. 根据权利要求 19 所述的装置, 其中所述第一输入信号是左信道输入并且所述第二输入信号是右信道输入。

21. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中滤波器还对第二输入信号进行操作, 从而提供输出信号和交叉馈送信号到所述第二和第一阵列 (100R, 100L) 的换能器 (108, 110; 104, 106), 使得

(d) 所述第二阵列 (100R) 的多个换能器 (108, 110) 在所述第一频率范围中产生破坏性干扰;

(e) 所述第二阵列 (100R) 的换能器 (104, 106) 在所述第二频率范围中不产生破坏性干扰, 以及

在 (c) 中, 所述第一阵列 (100L) 的第一换能器 (104, 106) 和所述第二阵列 (100R) 的第一换能器 (108, 110) 基于所述第一输入信号和第二输入信号而在第二频率范围中产生破坏性干扰。

22. 根据权利要求 21 所述的装置, 其中所述第一输入信号是左侧信号并且第二信号是右侧信号。

23. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中所述滤波器 (202, 304, 306, 310, 312, 314, 402, 404, 504, 506, 514) 对所述输入信号 (204, 502) 进行操作, 从而提供输出信号和交叉馈送信号到所述第一和第二阵列 (100L, 100R) 的换能器 (104, 106; 108, 110), 使得

(d) 所述第一阵列 (100L) 的换能器 (104, 106) 分别在所述第一和第二频率范围中产生基本上不同程度的破坏性干扰;

其中驱动所述第一阵列的第一信号和驱动所述第二阵列的第二信号不相同。

24. 一种用于处理声学换能器阵列信号的方法, 所述方法包括

对输入信号进行滤波, 并且将所述经滤波的信号作为输出信号和交叉馈送信号分布到物理上分离的第一和第二阵列 (100L, 100R) 的换能器, 从而驱动所述第一和第二阵列 (100L, 100R) 的换能器 (104, 106; 108, 110), 使得

(a) 所述第一阵列 (100L) 的多个换能器 (104, 106) 的组合在第一频率范围中产生破坏性干扰, 所述第一频率范围包括对应波长大于所述第一阵列 (100L) 中所述换能器 (104, 106) 之间间隔的两倍的频率范围;

(b) 所述第一阵列 (100L) 的多个换能器 (104, 106) 的组合在第二频率范围中不产生破坏性干扰, 所述第二频率范围包括对应波长大于所述第一和第二阵列 (100L, 100R) 之间间隔的两倍的频率范围; 以及

(c) 所述第一阵列 (100L) 的第一换能器 (104, 106) 和所述第二阵列 (100R) 的第一换

能器 (108, 110) 的组合在所述第二频率范围中产生破坏性干扰。

25. 根据权利要求 24 所述的方法, 其中所述第一频率范围中频率的范围还是所述对应波长小于所述第一和第二阵列 (100L, 100R) 之间间隔的两倍的频率范围。

26. 根据权利要求 25 所述的方法, 其中所述第一频率范围包括大约 1kHz 和大约 3kHz 之间的频率。

27. 根据权利要求 25 所述的方法, 其中所述第二频率范围包括大约 1kHz 以下的频率。

28. 根据权利要求 25 所述的方法, 其中所述输出信号和交叉馈送信号还驱动所述第一和第二阵列 (100L, 100R) 的换能器 (104, 106 ; 108, 110), 使得

(d) 在第三频率范围中不产生破坏性干扰, 所述第三频率范围包括对应波长小于所述第一阵列 (100L) 中换能器 (104, 106) 之间间隔的两倍的频率范围。

29. 根据权利要求 28 所述的方法, 其中所述第三频率范围包括大约 3kHz 以上的频率。

30. 根据权利要求 24 或 26 所述的方法, 其中所述输出信号和交叉馈送信号还驱动所述第一和第二阵列 (100L, 100R) 的换能器 (104, 106 ; 108, 110), 使得

(d) 所述第一阵列 (100L) 的多个换能器 (104, 106) 的组合在低于约 550Hz 的频率处不产生破坏性干扰 ; 以及

(e) 所述第一阵列 (100L) 的换能器 (104, 106) 和所述第二阵列 (100R) 的换能器 (108, 110) 的组合在低于约 550Hz 的频率处产生破坏性干扰。

## 声学换能器阵列信号处理

### 技术领域

[0001] 本说明书涉及声学换能器阵列信号处理。

### 背景技术

[0002] 扩音器系统的声学换能器（有时称为驱动器）可以分组为阵列（例如声偶极子或者声单极子对）从而提高来自换能器的辐射功率，或者直接控制来自换能器的辐射的振幅和相位。阵列可以采用例如声偶极子或者声单极子对的形式。

[0003] 如图 7 所示，在图 700 中，声偶极子 702（例如，从其振动膜的前面和后面等同地辐射声音的后开（open-backed）扬声器）在以  $\theta = \pm 90$  的轴 707 为中心的两个波瓣 704a 和 706b 中有效地辐射能量，其中来自前方和后方的波沿着  $\theta = 0$  的偶极子 702 的中间平面 708 抵消。该消除区域被称为零空间（null），可以用于生成心理声学效应，诸如改变感知声音从中起源的方向。如图 7B 和图 7C 所示，波瓣可以是不对称的（图 7B 中的 704b、706b；图 7C 中的 704c、706c），并且可以仅在一个平面上（例如，沿着图 7B 中的零空间轴 710）或者在多个平面上（例如沿着图 7C 中的零空间轴 712、714）是零空间。图 7B 还示出了在理想辐射模式 716 和由真实换能器（未示出）所产生的实际辐射模式 718 之间存在差异。

### 发明内容

[0004] 总体上，在一个方面，滤波器对输入信号进行操作，从而提供输出信号和交叉馈送（cross-feed）信号到第一阵列和第二阵列的换能器，使得第一阵列的多个换能器在第一频率范围内产生破坏性干扰；第一阵列的换能器在第二频率范围内不产生破坏性干扰；并且第一阵列的第一换能器和第二阵列的第一换能器在第二频率范围内产生破坏性干扰。

[0005] 实施可以包括一个或者多个以下特征。

[0006] 第一频率范围包括对应波长大于第一阵列中的换能器之间间隔的两倍的频率范围。该频率范围还是对应波长少于第一阵列和第二阵列之间间隔的两倍的频率范围。第二频率范围包括对应波长大于第一阵列和第二阵列之间间隔的两倍的频率范围。第一频率范围包括在大约 1kHz 和大约 3kHz 之间的频率。第二频率范围包括大约 1kHz 以下的频率。

[0007] 第一频率范围包括上频率（upper frequency）和下频率（lower frequency）之间的频率并且滤波器包括：串联的反相低通滤波器和高通滤波器，其中该反相低通滤波器在上频率具有拐角频率，而该高通滤波器在下频率具有拐角频率，它们提供输出信号到第一阵列的第一换能器；以及全通滤波器，其相位匹配至高通滤波器，并且提供输入信号到第一阵列的第二换能器。滤波器配置用于使去往第一阵列的第一换能器的输出信号相对于去往第一阵列的第二换能器的输出信号发生延迟。当输入信号在第一频率范围中时，滤波器衰减去往第二阵列的换能器的交叉馈送信号。第一频率范围包括上频率和下频率之间的频率并且滤波器包括：低通滤波器，其在下频率具有拐角频率，并且提供交叉馈送信号到第二阵列；以及全通滤波器，其相位匹配至所述低通滤波器，并且提供输出信号到第一阵列。

[0008] 第二频率范围包括第一上频率以下的频率并且滤波器包括：反相低通滤波器，在

上频率具有拐角频率,并且提供交叉馈送信号到第二阵列;以及全通滤波器,其相位匹配至反相低通滤波器,并且提供输出信号到第一阵列。当输入信号在第二频率范围中时,滤波器衰减去往第一阵列的第二换能器的输出信号。第二频率范围包括第一上频率以下的频率并且滤波器包括:第一高通滤波器,其在第一上频率具有拐角频率,并且提供输出信号到第一阵列的第二换能器;以及第一全通滤波器,其相位匹配至高通滤波器,并且提供输出信号到第一阵列的第一换能器;以及第二全通滤波器,其相位匹配至第一全通滤波器,并且提供交叉馈送信号到第二阵列的第一换能器。滤波器还包括:第二高通滤波器,其在第一上频率具有拐角频率,提供交叉馈送信号到第二阵列的第二换能器,并且相位匹配至第二全通滤波器。滤波器在第三频率范围中提供输出信号和交叉馈送信号到第一阵列和第二阵列的第二换能器,该第三频率范围包括第二上频率以下的频率,其中第二上频率低于第一上频率。滤波器包括:第一低通滤波器和第二低通滤波器,其在第二上频率具有拐角频率,并且提供输出信号和交叉馈送信号分别到第一阵列和第二阵列每个中的第二换能器;以及,第一全带通滤波器和第二全带通滤波器,分别相位匹配至第一低通滤波器和第二低通滤波器,并且第一全带通滤波器和第二全带通滤波器彼此相位匹配,并且提供输出信号和交叉馈送信号分别到第一阵列和第二阵列每个中的第一换能器。

[0009] 滤波器还提供输出信号和交叉馈送信号到第一阵列和第二阵列的换能器,使得在第三频率范围中不产生破坏性干扰。第三频率范围包括对应波长少于第一阵列中换能器之间间隔的两倍的频率范围。第三频率范围包括大约 3kHz 以上的频率。第三频率范围包括下频率以上的频率,并且滤波器配置用于使得第一阵列的第一换能器被激活,并且当输入信号在下频率以上时,衰减去往第一阵列的第二换能器的输出信号。滤波器包括在下频率具有拐角频率的低通滤波器并且提供输出信号到第一阵列的第二换能器。滤波器还配置用于当输入信号在第三频率范围中时,衰减去往第二阵列的换能器的交叉馈送信号。滤波器包括:第一低通滤波器,在下频率具有拐角频率,并且提供输出信号到第一阵列的第二换能器;第二低通滤波器,在下频率或者低于该下频率具有拐角频率,并且提供交叉馈送信号到第二阵列;以及,全通滤波器,其相位匹配至第二低通滤波器,并且提供输出信号到第一阵列。

[0010] 滤波器包括第一全通滤波器,其提供输出信号到第一阵列的第一求和输入;第二全通滤波器,其提供输出信号到对第一阵列的第一换能器的输入;串联的第一低通滤波器和第一高通滤波器,提供输出信号到对第一阵列的第二换能器的第一求和输入;第二低通滤波器,提供输出信号到对第一阵列的第二换能器的第二求和输入;第三低通滤波器,提供交叉馈送信号到对第二阵列的第一求和输入;第三全通滤波器,提供交叉馈送信号到对第二阵列的第一换能器的输入;串联的第四低通滤波器和第二高通滤波器。提供交叉馈送信号到对第二阵列的第二换能器的第一求和输入;以及第五低通滤波器,提供交叉馈送信号到对第二阵列的第二换能器的第二求和输入。第二低通滤波器和第五低通滤波器在下频率具有拐角频率;第三低通滤波器和第一高通滤波器以及第二高通滤波器在中间频率具有拐角频率;并且第一低通滤波器和第四低通滤波器在上频率具有拐角频率。滤波器还包括第六低通滤波器,其提供交叉馈送信号到第一阵列的第二求和输入;第四全通滤波器,其提供输出信号到第二阵列的第二求和输入;并且其中第一信号输入耦合到第一全通滤波器和第三低通滤波器,并且第二信号输入耦合到第四全通滤波器和第六低通滤波器。

[0011] 滤波器还提供输出信号和交叉馈送信号到第一阵列和第二阵列的换能器,使得第一阵列的换能器在其他频率范围中不产生破坏性干扰;并且第一阵列中的多个换能器和第二阵列中的多个换能器在其他频率范围中产生破坏性干扰。其他频率范围包括大约 550Hz 以下的频率。

[0012] 滤波器还对第二输入信号进行操作,从而提供输出信号和交叉馈送信号到第一阵列和第二阵列每个中的换能器,使得第二阵列的多个换能器在第一频率范围中产生破坏性干扰;第二阵列的换能器在第二频率范围中不产生破坏性干扰;并且第一阵列的第一换能器和第二阵列的第一换能器基于第一输入信号和第二输入信号而在第二频率范围中产生破坏性干扰。第一输入信号是左侧信号并且第二输入信号是右侧信号。

[0013] 总体上,在一个方面,滤波器对输入信号进行操作,从而提供输出信号和交叉馈送信号以驱动第一阵列和第二阵列的换能器,使得第一阵列的换能器分别在第一频率范围和第二频率范围中产生基本上不同程度的破坏性干扰;并且第一阵列的换能器和第二阵列的换能器在第二频率范围中产生破坏性干扰;其中驱动第一阵列的第一信号和驱动第二阵列的第二信号不相同。

[0014] 有益效果包括增强了包括扬声器阵列的扩音器系统的低频率输出效率,其中每个阵列独立地工作以便在高频率中建立声学辐射中的零空间,并且阵列一起工作以便在下频率建立零空间。每个阵列中的间隔近的换能器和阵列之间的较大间隔的组合允许用于高频率信号和低频率信号两者的功率的有效辐射。感知轴可以置于阵列的物理范围以外。

[0015] 根据描述和权利要求书其他特征和优势将明显。

#### 附图说明

[0016] 图 1 是音频系统的示意性视图。

[0017] 图 2- 图 5 和图 6B- 图 6E 是音频系统的框图。

[0018] 图 6A 是表格。

[0019] 图 7A- 图 7C 是图形。

#### 具体实施方式

[0020] 通过组合声学源以形成阵列以及处理传送到源和阵列的声学信号,可以控制包括阵列的扩音器系统的辐射模式,从而实现通过扩音器系统将声学能量辐射到收听方的各种目标,包括产生各种类型的辐射模式,其可以比单个源的辐射模式更复杂。声学信号处理可以包括将施加到每个换能器的信号相对于施加到其他换能器的信号进行延迟、反相、滤波、相移或者电平偏移。在系统附近空间中的给定点处,来自换能器的声学输出可以例如建设性地干扰(提高声压)或者破坏性地干扰(降低声压)。可以将零空间创建为采用期望的形状并且将其操纵到期望的角度。为了便于理解,将在便于描述的平面(诸如水平面)中看到方向性。在水平面中,可以讨论操纵“零空间轴”到期望的角度。然而,应该理解,在三维空间中,零空间可以具有三维形状,诸如圆锥外壳,其中外壳壁的角度是变化的。在偶极子类型源的情况下,圆锥角是 180 度,并且零空间的形状退化为简单平面。对于心形形状,圆锥角是零度,并且零空间形状退化为简单线条。

[0021] 驱动声学换能器的一些方面在以下共同未决申请中讨论,该申请题为“Reducing



Resonant Motion in Undriven Loudspeaker Drivers”,提交于 2006 年 8 月 4 日,在此通过参考并入。

[0022] 因为对所辐射声学能量的信号处理效果依赖于信号的频率(并因此依赖于声波的频率)和换能器的相对位置,所以信号处理和换能器分组的各种组合可以用于在各种频率范围中创建期望的声学效果。

[0023] 可以使用模拟或者数字信号处理技术来执行信号处理。模拟信号处理系统通常使用模拟滤波器,该模拟滤波器使用布置为实现期望的滤波功能的各种无源组件和运算放大器形成。数字信号处理可以实现在诸如通用计算机的由软件或者固件控制的各种类型的数字系统中,或者实现在诸如数字信号处理(DSP)处理器的专用设备中。分立的组件以及模拟和数字系统可以组合起来使用。这些信号处理组件和系统可以集中地或者分布式(或者两者相结合)位于扬声器阵列、独立的换能器、或者其他系统组件间,诸如接收器、放大器以及均衡器。

[0024] 当使用破坏性干扰时,需要效率、频率范围和方向性控制之间的折衷。在一些示例中,在直到两个换能器之间的间隔是声学输出波长的一半的频率时,可以沿着定向于期望角度的零空间轴实现具有零空间的预定辐射模式。在这种频率以上,多个波瓣和零空间开始出现,其可能与期待的效果相冲突。系统的效率(对于固定量的功率输出而言,可以传送到收听环境的声学能量的量,或者功率)直接依赖于扬声器之间的间隔。较大间隔提供了较高频率,但是(如所解释的)减小了可以对方向性进行控制的最大频率。在一些示例中,阵列在其自身换能器之间具有小间隔从而在高频处维持控制,并且在来自不同阵列的换能器之间具有大间隔从而在低频率处提供足够的输出功率。

[0025] 在一些示例中,如图 1 所示,音频系统包括两个扬声器阵列,左阵列 100L 和右阵列 100R,将布置在收听环境 103 的相对应的侧部并且重新产生例如立体声源的相对应的左信号和右信号。可以操控期望用于一侧或者另一侧的信号并且将其交叉馈送到相对侧,以便实现辐射模式,该辐射模式能够例如将零空间引导向收听方(或者另一期望方向)同时提高系统的效率。

[0026] 每个阵列 100L、100R 均包括两个换能器,其称作左外部换能器 104、左内部换能器 106、右内部换能器 108 和右外部换能器 110。换能器可以是相同的或者可以不是相同的。在一个频率范围中,例如,较高频率范围(波长小于每个阵列内独立换能器之间的间隔的两倍的频率),每个阵列独立地工作并且仅一个换能器用于每个阵列中,所以不产生零空间。在中等频率(例如,波长小于单独阵列之间间隔的两倍的频率)中,每个阵列再次独立工作从而重新产生其相对应的左信号和右信号,并且使用阵列的换能器的组合来操纵那些信号从而产生零空间。在下频率,阵列使用每个阵列中的一个或者两个换能器一起工作。

[0027] 针对左信道信号,左阵列 100L 通过使用其两个具有和合适信号处理的换能器 104、106 来以零空间轴 112 所示出的期望方向来操纵零空间,从而实现预定辐射方式。合适信号处理的示例将左信道信号馈送到外侧换能器 104,并且将相同但异相的左信道信号馈送到内部换能器 106。(假设两个换能器 104、106 是相同的。如果它们不相同,则两个信号可以不是相同的。)期望的零空间轴方向可以通过在两个相同但异相的左信道信号之间引入延迟,或者通过对与馈送到另一换能器的信号不同的、被馈送到一个换能器的信号进行滤波来进行控制。如果期望,则阵列 100L 的效率可以通过相对于施加到换能器 104 的信号

来衰减施加到换能器 106 的信号（或者相对于施加到换能器 106 的信号来衰减施加到换能器 104 的信号）来提高。类似的行为针对右信道信号而发生，其中沿着零空间轴 110 的零空间从右阵列 100R 出现。

[0028] 两个阵列的每个阵列的两个换能器具有相对小的间隔 107、109，例如在中心 5cm 到 7cm 的范围中，而两个阵列之间的间隔 111 较宽，例如在 50cm 到 70cm 的范围中。这允许阵列方便地布置在通常的计算机侧或者电视监控器侧。在一些示例中，每个阵列内的换能器距离中心 6.5cm。

[0029] 在下频率，可以将两个更宽间隔的阵列一起使用，就象它们是单个扬声器阵列一样。在一个下频率范围中。例如 550Hz-1kHz，来自每个阵列的一个换能器，例如外部换能器 104 和 110，一起被使用作为被驱动阵列的两个元件，使得它们的声学输出破坏性地干扰从而创建期望的辐射模式，其特征在于沿着他们之间的零空间轴 114 的零空间。在此频率范围中的较宽元件间隔通过组合的阵列导致声音辐射的效率提高。在另一个低频率范围，例如在 550Hz 以下，来自左阵列 100L 的换能器 104 和 106 被馈送以相同的信号并且用于形成第一声源；来自右阵列 100R 的换能器 108 和 110 也被馈送以相同的信号并且用于形成第二声源；其中该两个源组合形成单个阵列。被发送到信号预期被发送到的相对侧的信号（即馈送到右阵列 100R 的左侧信号）在此描述中有时称为交叉馈送信号。如前所述处理被发送到第一源和第二源的信号，从而创建如上针对较高频率所述的沿着同一零空间轴 114 的零空间。即，在此低频率范围中，馈送到换能器 104 和 106 的信号相对于馈送到换能器 108 和 110 中的信号相同但极性相反。一个信号还可以相对于另一个信号延迟，可以相对于另一个滤波，和 / 或相对于另一个衰减。例如，可以相对于馈送到换能器 104 和 106 的信号来延迟馈送到换能器 108 和 110 的信号，其可以衰减一些量（例如 2dB），和 / 或可以被滤波（例如，利用低通滤波器）。此布置的益处在于系统在此频率范围中（即，从所有四个换能器）具有更多的辐射面积，这可以增加系统的最大输出能力。这用于实现期望的辐射模式和提高系统的总输出功率能力。通常，针对具有多个换能器的阵列，选择性地改变工作在各种频率范围中的多个换能器可以用于改进系统效率和最大输出能力，同时在较宽的频率范围上实现期望的辐射模式。

[0030] 阵列的另一效果是，声像可以很好地位于左阵列的左边或者很好地位于右阵列的右边。这可以通过将零空间轴定向于期望方向中而实现。这些声像的位置（收听方解释为声音起源位置）称作左感知轴 118 和右感知轴 120。感知轴的定向可以通过控制零空间轴的定向来控制。下文描述用于创建沿着零空间轴的零空间的信号处理的示例，具体从最基本的阵列构建块开始并且进而添加信号处理的每个功能特征。为了简化，此描述专注于左输入信号。可以看到，同一处理施加于传送右输入信号到合适的换能器。

[0031] 通过将左输入信号 204 分割为两个路径并且将对发送到左内部换能器 106 的信号应用低通滤波器 202，来创建沿着左零空间轴 112 的零空间，如图 2 所示。将全频谱信号发送到左外部换能器 104，其作为这个信号 204 的主换能器。低通滤波器 202 防止具有 3kHz 以上频率的信号到达内部换能器 106。外部换能器 104 还可以向外转动角度（参见图 1）从而减少到达收听方 102（图 1）的左信道高频内容。滤波器 202 还反相信号的相位，从而创建沿着零空间轴 112 的声学零空间，其中内部换能器 106 作为针对此信号 204 的抵消换能器。在一些示例中，通过滤波器 202 引入 21  $\mu$ s 延迟，从而操纵零空间轴 112 朝向收听方

102。对滤波器 202 衰减 2dB 来提高整体系统效率,而没有显著恶化心理声学效果。

[0032] 结合示于图 1 和图 2 的信号分割和换能器几何形状而使用的单个滤波器 202 可以提供令人信服的左感知轴,其可以相对于换能器的物理位置有所移位,但是,由于主换能器和抵消换能器非常靠近,所以存在低频率输出限制。移动换能器 104 和 106 相距更远一些可以解决这个问题,但是将要求较大阵列封装(enclosure)并且将限制系统可以控制零空间轴 112 的方向的上频率。

[0033] 为了提高阵列的低频率效率,右外部换能器可以用作用于低频率的抵消换能器。结果,使用右阵列 100R,就好像它是左阵列 100L 的一部分一样,而不是作为预期用于右信道信号的独立扩音器。在图 3 的示例中,此概念针对 1kHz 以下的频率、通过利用低通滤波器 306 进行滤波和反相左输入 204 并且将该信号施加(即交叉馈送)到右阵列 100R 来实现的。在一些示例中,交叉馈送频率的选择(在此示例中为 1kHz)将取决于换能器的能力和它们的间隔以及关于感知轴布置的主观决定。如果沿着零空间轴 114 的零空间期望直接在扬声器阵列之间,则在滤波器 306 中不要求延迟。在一些示例中,找到低频率零空间从而容忍对抵消换能器的 3dB 衰减而没有感知退化。

[0034] 通过抵消当前交叉馈送到阵列 100R 的 1kHz 以下的信号,可以通过以下方式消除在此频率范围上来自换能器 106 和 108 的输出,该方式不破坏已经建立在左内部换能器和左外部换能器之间的相位关系。这可以通过例如使用一对高通滤波器 310 和 312 并且匹配全通滤波器 302 和 314(虚线箭头 322 和 324 指示相位匹配)来实现。全通滤波器 302 和 314 还可以彼此相位匹配,如虚线箭头 325 所示。

[0035] 将 1kHz 高通滤波器 310 应用于左内部换能器 106 并且无需匹配全通滤波器将引入新的相移,其将破坏已经建立的沿着零空间轴 112 的零空间。为了避免破坏沿着零空间轴 112 的零空间,在感兴趣的频带上(在此示例中为  $< 1\text{kHz}$ ),全通滤波器的相位将在大约  $\pm 30$  度的容限内匹配高通滤波器的相位。如果在较大频率范围上发生相位匹配,并且相位匹配达到诸如大约  $\pm 15$  度的严密程度,则性能可能得到改进。将另一全通滤波器 304 应用于左阵列输入并且相位匹配(也在大约  $\pm 30$  度以内)右低通滤波器 306 从而保持交叉馈送信号与主信号同相。由于滤波器 202 和 310 的操作,由左换能器 104 和 106 的组合输出所形成的零空间被限制到频率范围 1kHz 至 3kHz。换言之,针对频率范围 1kHz 至 3kHz 内的左输出信号 204,左阵列 100L 独立地实现了沿着零空间轴 112 的零空间。针对在 1kHz 以下频率范围的左输入信号 204,左外部换能器 104 和右外部换能器 110 组合在一起从而形成沿着零空间轴 114 的零空间。可以以类似方式对右信号进行处理。

[0036] 该系统的在选定频率范围中的低频率性能可以通过使用内部换能器结合它们相对应的外部换能器来增强,该频率范围例如,低于上述频率范围(其中仅外部换能器正在工作)的频率范围(例如,在 550Hz 以下)。如图 4 所示,并行于现有滤波器 310 和 312 添加一对低通滤波器 402 和 404,从而对左内部阵列换能器 106 和右内部阵列换能器 108 的信号输入进行滤波,通过混频器 410 和 412 与并行的较高频率信号相混频,并且将其提供到那些换能器。在 550Hz 以下,滤波器 402 和 404 与滤波器 302 和 314 在相位上匹配(在大约  $\pm 30$  度以内),由虚线箭头 406 和 408 示出。在图 4 以及后续图中,为了清楚起见,将示出了全通滤波器 302 和 314 之间的相位匹配的虚线箭头 325 去除。

[0037] 如图 5 所示,假设左阵列和右阵列是相同的,目前为止所描述的大多数滤波器在

左侧和右侧都是相同的,所以只需添加极少的滤波器,从而产生用于右输入 502 的相同效果。如果左阵列和右阵列不相同,则可能需要调整用于左信号路径和右信号路径的滤波器参数从而考虑阵列差异。低通滤波器 514(其匹配滤波器 202)提供反相信号到右内部换能器 108,使得来自换能器 108 和 110 的组合输出将产生用于中等频率范围(在此示例中为 1kHz 至 3kHz)的沿着零空间轴 116 的零空间(图 1)。与低通滤波器 306 的特性相匹配的低通反相滤波器 506 接收右信号输入 502 并且提供右交叉馈送信号到左阵列 100L,使得由来自每个阵列的元件所辐射的右信道低频率信号将产生类似于针对左信道实现的沿着零空间轴的零空间,在一些示例中,沿着同一零空间轴 114 如左信道信号。至于左边,将全通滤波器 504 添加到右输入并且相位匹配至右交叉滤波器 506,如虚线箭头 512 所示(为了清楚起见,去除了其他虚线相位匹配箭头)。混频器 510 和 508 针对两个阵列来结合主信号和交叉馈送信号。在第一级之后发生的每个滤波器(即滤波器 304、306、504 或者 506 中任一个之后)产生了信号,将该信号作为基于其本身一侧的输入信号的输出信号和基于其相对侧的输入信号的交叉馈送信号两者来对待。例如,来自低通滤波器 404 的信号输出指的是基于左输入信号 204 的输出信号和基于右输入信号 503 的交叉馈送信号两者,如已经经过低通交叉馈送滤波器 506 所滤波的。该两种信号馈送到左内部换能器 106。

[0038] 在图 6A 中,表格 600 概述了在图 4 中每个换能器在其上活跃的频率范围,包括每个换能器上的衰减、延迟和相移。图 6B-6E 示出了每个范围的激活滤波器和信号路径。示出了相对于主换能器的相位关系,其中“+”指示针对每个范围的主换能器,并且“-”指示抵消换能器。具有白色衬底的换能器符号指示在该频率范围内该换能器是非活跃的(即,该范围中的信号已经基本上从用于该换能器的输入中衰减掉了)。表格 600 和图 6B-6E 仅指示左输入 204 的滤波。对称的表格(未示出)将描述右输入 502 的滤波。

[0039] 针对 550Hz 以下的左信道信号,如行 602 和图 6B 所示,由于左外部换能器 104 的滤波器 302 和用于左内部换能器 106 的滤波器 402,所以左阵列 100L 中的两个左换能器(外部换能器 104 和内部换能器 106)是活跃的并且相对于彼此同相(表格 100 中的符号 604、606)。右阵列 100R 中的两个右换能器(外部换能器 110 和内部换能器 108)是活跃的并且相对于彼此同相,但是,作为一个整体,如符号 608、610 所示,它们与作为一个整体的左换能器异相。还存在来自交叉馈送低通滤波器 306 的 3dB 衰减。低通滤波器 404 提供低频信号(已经经过滤波器 306 所反相的)到右内部换能器。来自两个阵列的换能器的输出的结合提供期望的辐射模式并且负责沿着零空间轴 114 的零空间。每个阵列的两个换能器作为单个声源,并且源间隔是阵列之间的间隔(相对于单个阵列元件之间的间隔),其提高了该频率范围中的辐射效率并且还提高了系统的最大输出能力。通过此配置,两个阵列作为单个大型阵列。

[0040] 在左信道信号的 550Hz 至 1kHz 的范围中,由行 612 和图 6C 所示,外部换能器 104、110 与下范围中的(614,620)相同,而由于低通滤波器 402 和 404 与高通滤波器 310 和 312 的结合,内部换能器 106、108 是关闭的(616,618)。来自外部换能器 104 和 110 的输出形成沿着零空间轴的零空间,其可以是零空间轴 114。在此范围中,两个阵列 100L、100R 还作为单个大型阵列,这提高了低频输出效率。然而,来自每个阵列的仅一个换能器正在工作从而避免与来自高通滤波器 310 和 312(在此示例中大约为 1kHz)的反相信号相干扰。如果期望的话,沿着零空间轴 114 的声学零空间可以通过在施加于各种换能器的信号之间引入延

迟来操纵。

[0041] 用于左信道信号的 1kHz 至 3kHz 的范围中的沿着零空间轴 112 的零空间仅从左换能器产生,如行 622 和图 6D 所示。左外部换能器 104 通常处于开启 (624),同时由低通滤波器 202 对左内部换能器 106 进行衰减(为了提高系统最大输出功率)、反相(为了创建零空间)(626)以及延迟(为了操纵零空间轴 112)。在此频率范围中,由于低通滤波器 306,两个右换能器 108、110 都是关闭的(628,630)。在此频率范围中不存在交叉馈送。

[0042] 在 3kHz 以上,如行 632 和图 6E 中所示,右换能器 108、110 保持关闭(638,640),并且左内部换能器 106 也被滤波器 202 所关闭(636)。仅左外部换能器 104 保持开启(634)。

[0043] 通常,通过使用每个单独阵列的各个元件在较高频率独立地控制阵列的辐射模式,并且以某种形式联合地使用两个阵列来在下频率控制相结合的阵列输出,可以保持或者改进在低频的效率并且可以在较宽频率范围上控制方向性。因为宽间隔阵列改进了整体系统效率,所以与仅使用每个阵列来控制其自身侧信号的系统相比,该系统可以在低频传送更大功率。

[0044] 如上所述,类似的技术可以用于布设具有任何数目换能器的阵列。将要滤波的频率、那个信号进行反相、移位或延迟、以及将换能器定位于何处这类的细节将依赖于以下因素,诸如换能器的数目、换能器的特征、期望的输出、阵列将使用于其中的环境、以及每个换能器的功率输出能力。

[0045] 其他实施方式处于以下权利要求书的范围内。

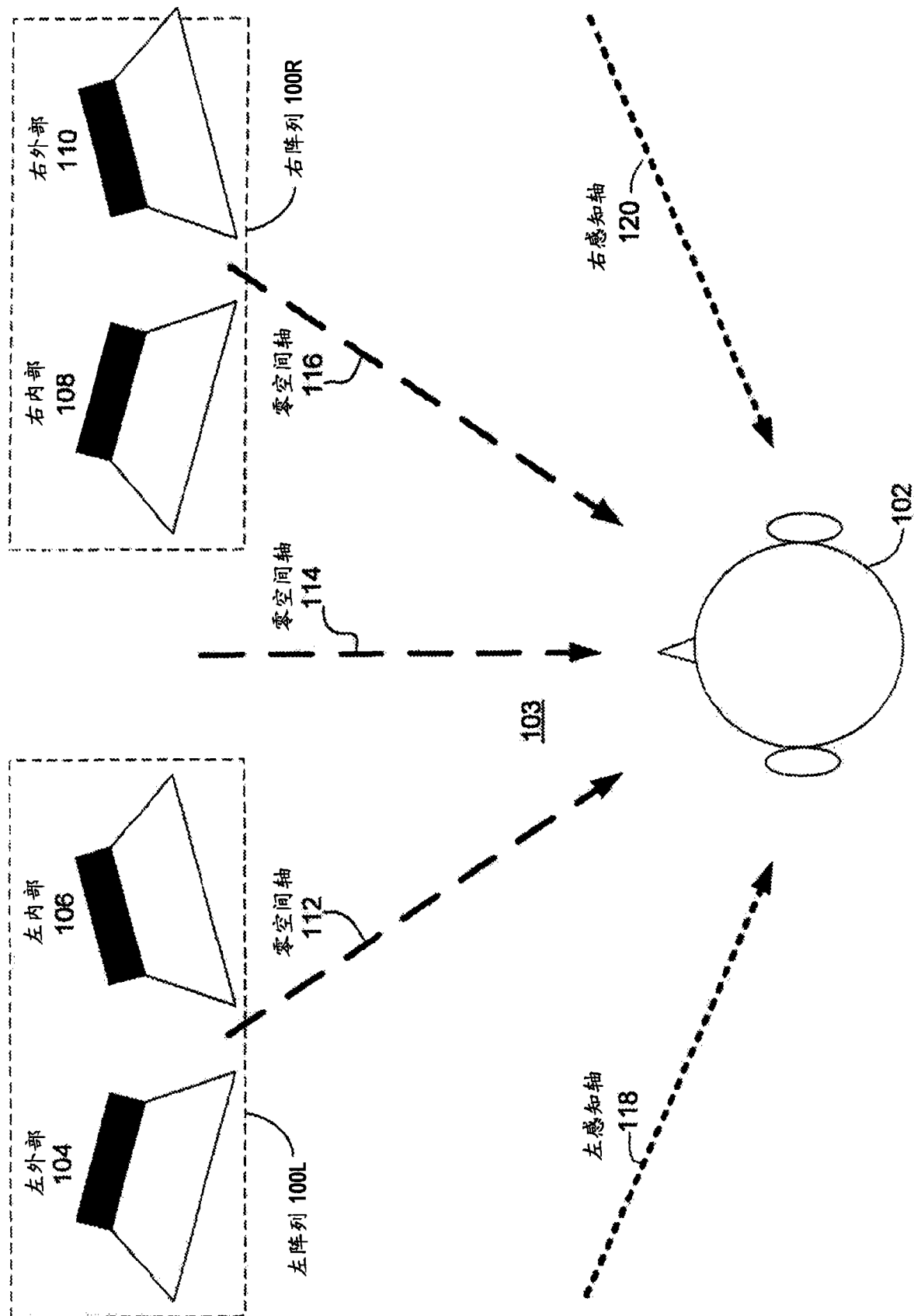


图 1

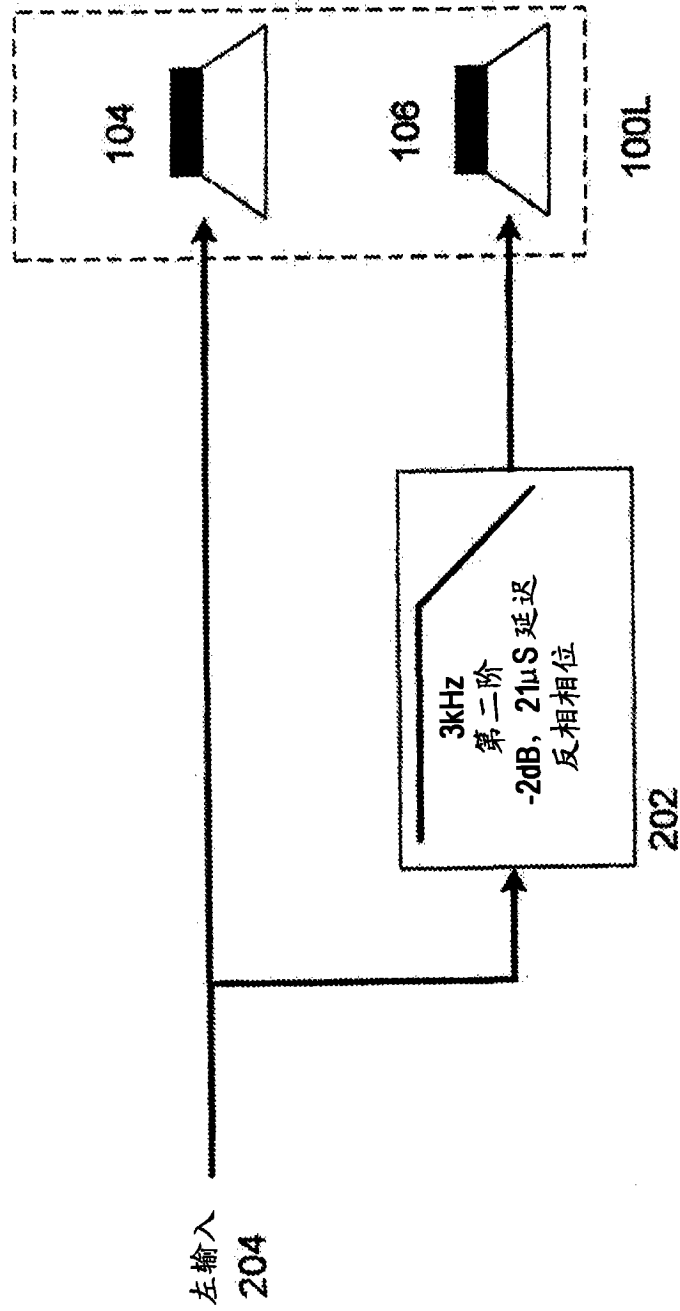


图 2

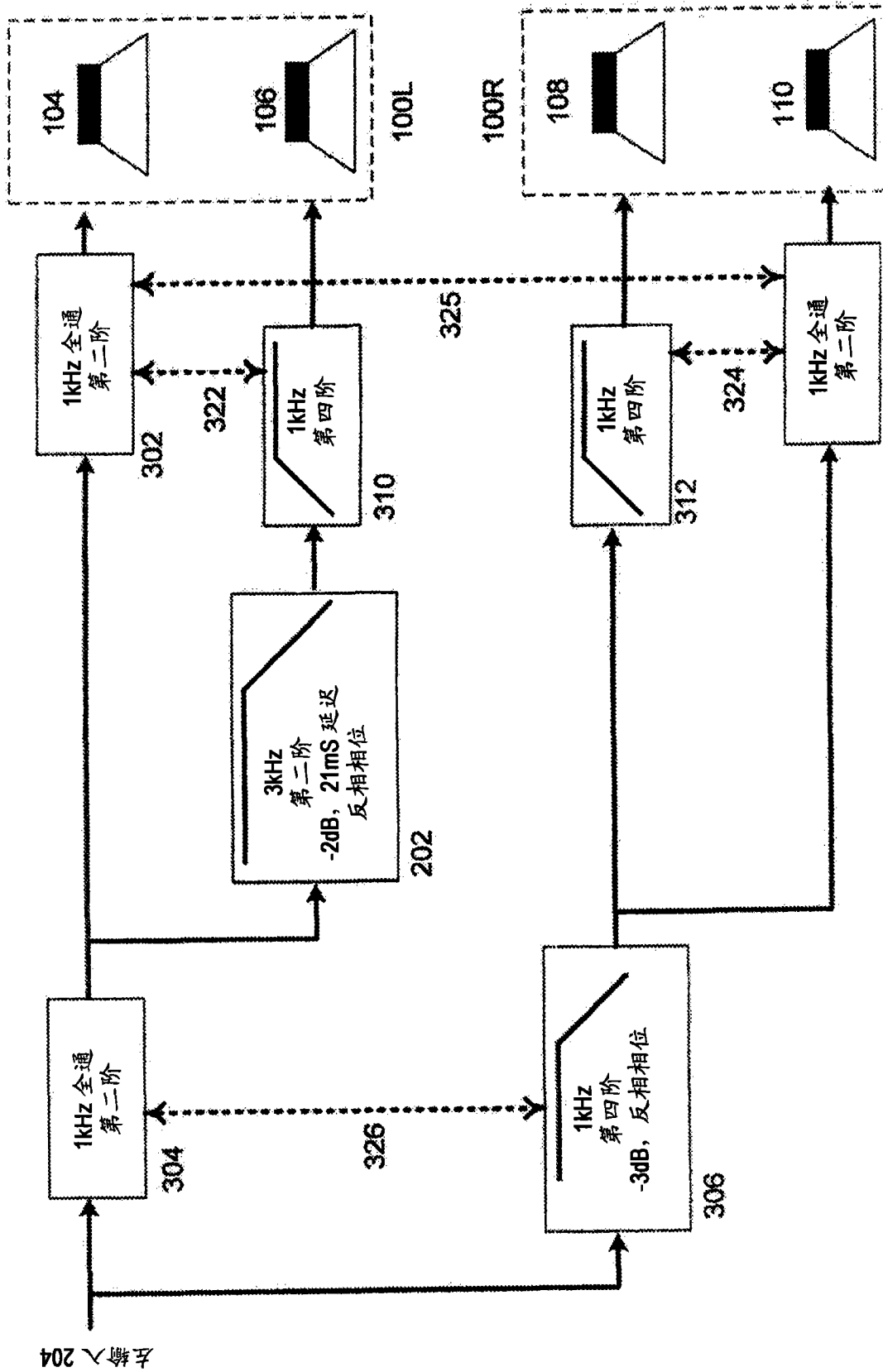


图 3



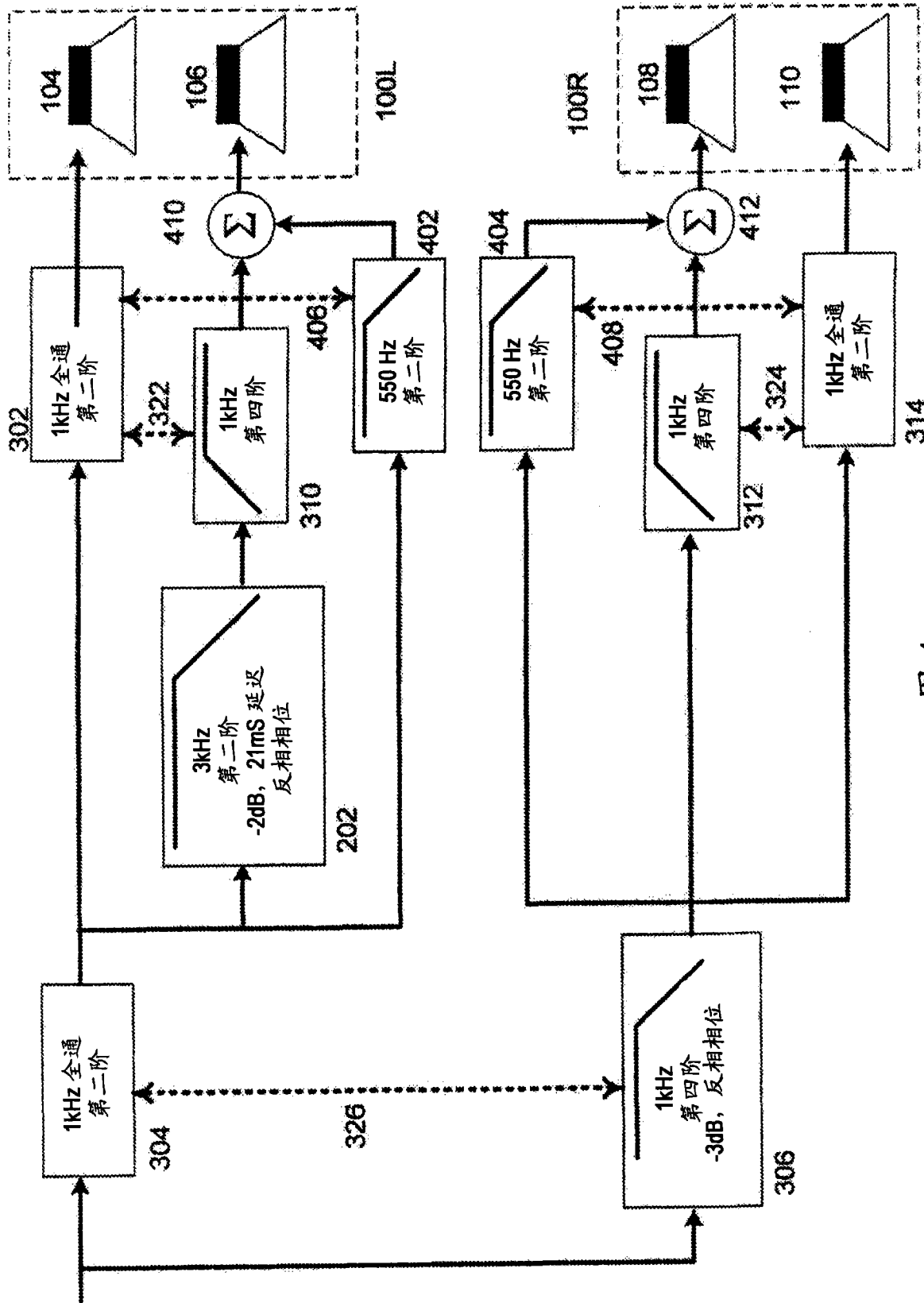


图 4

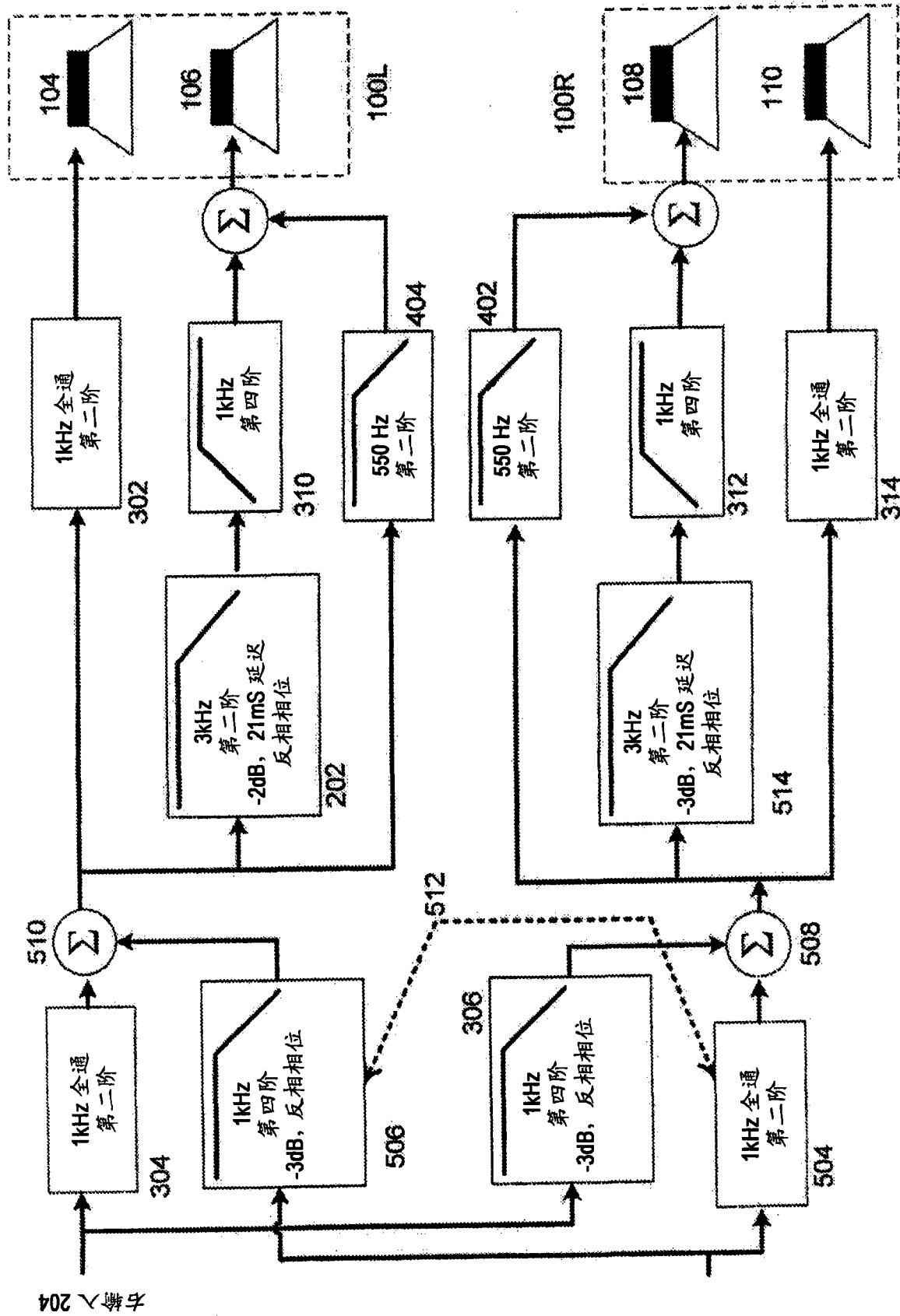


图 5

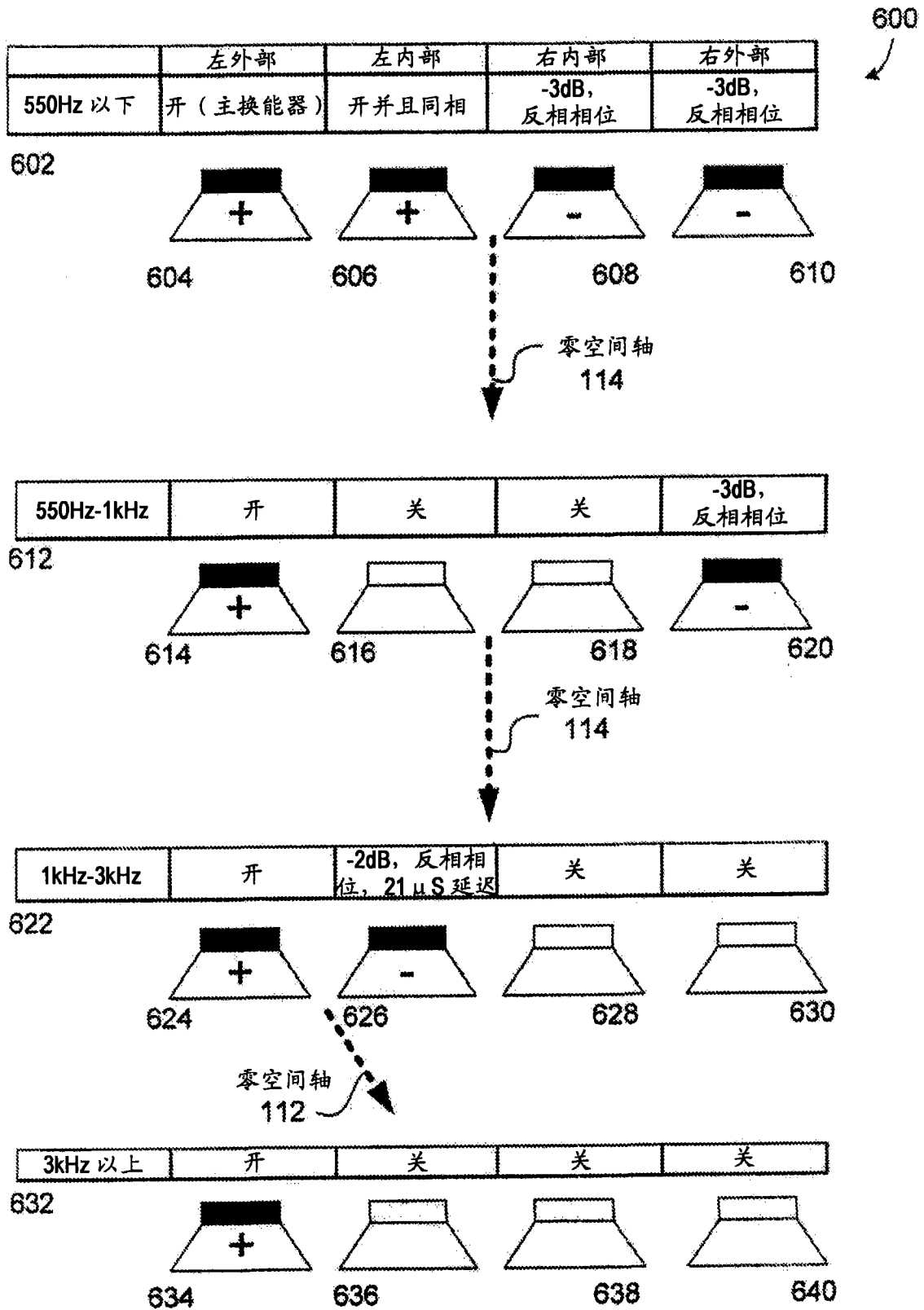
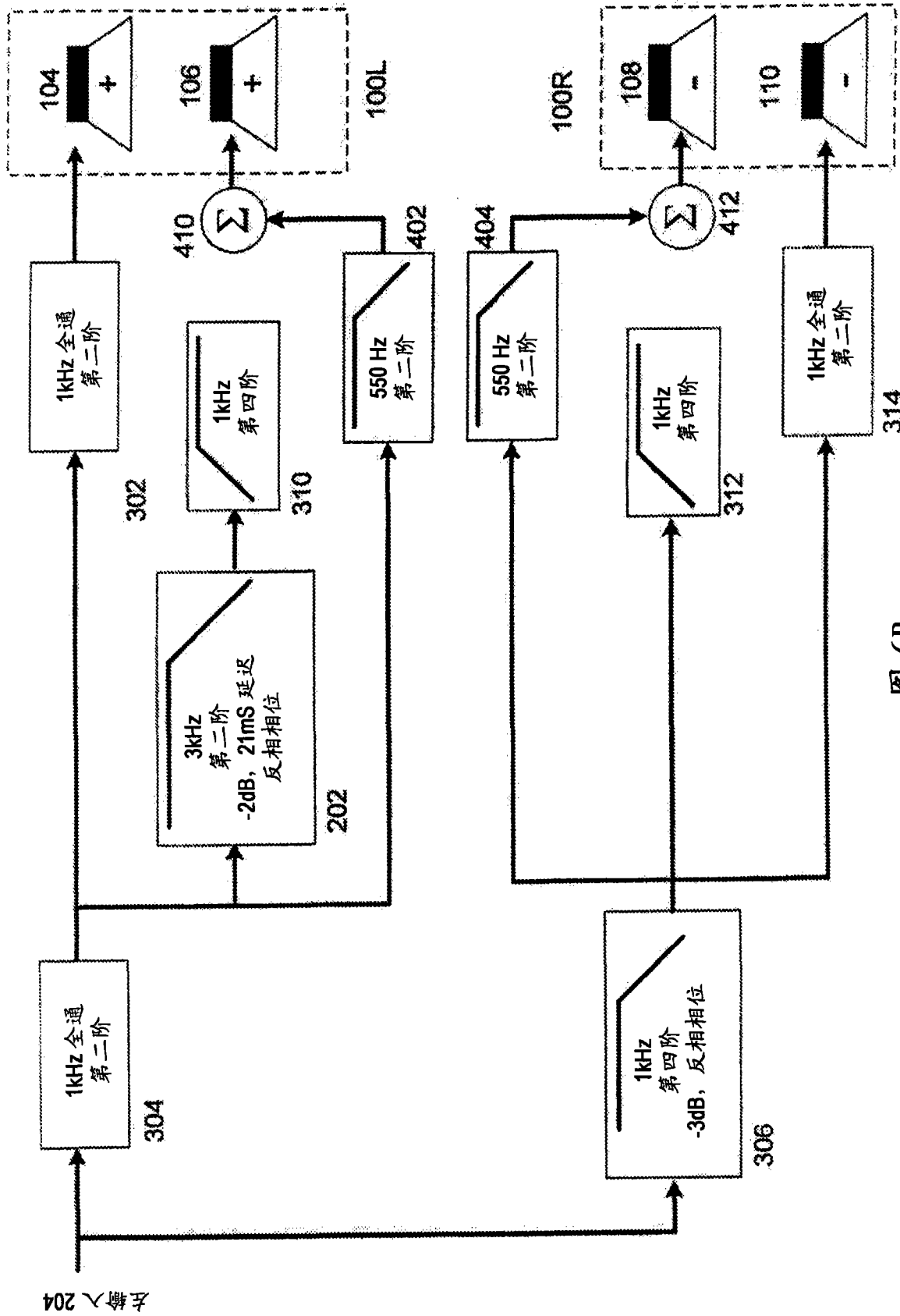


图 6A



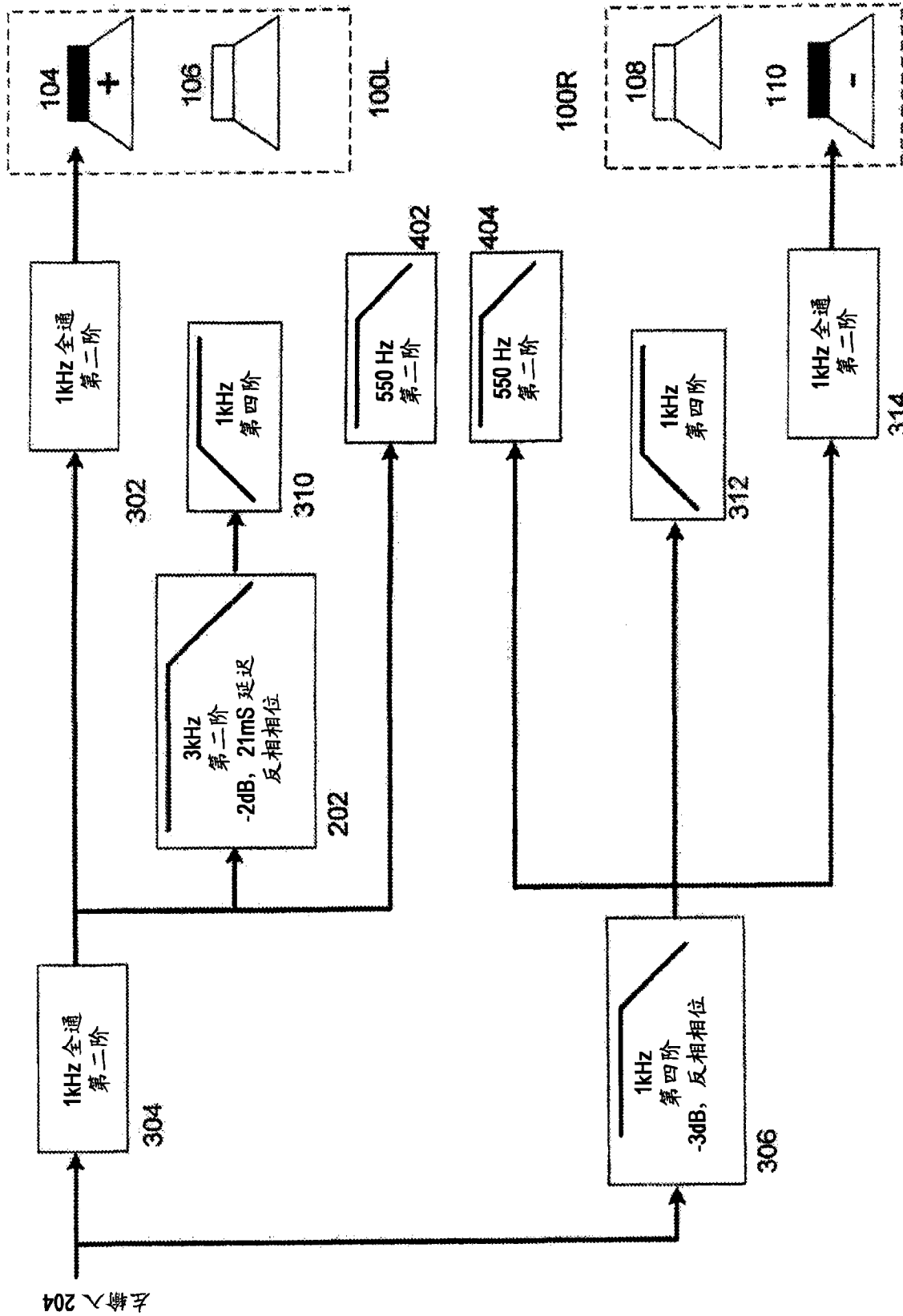


图 6C

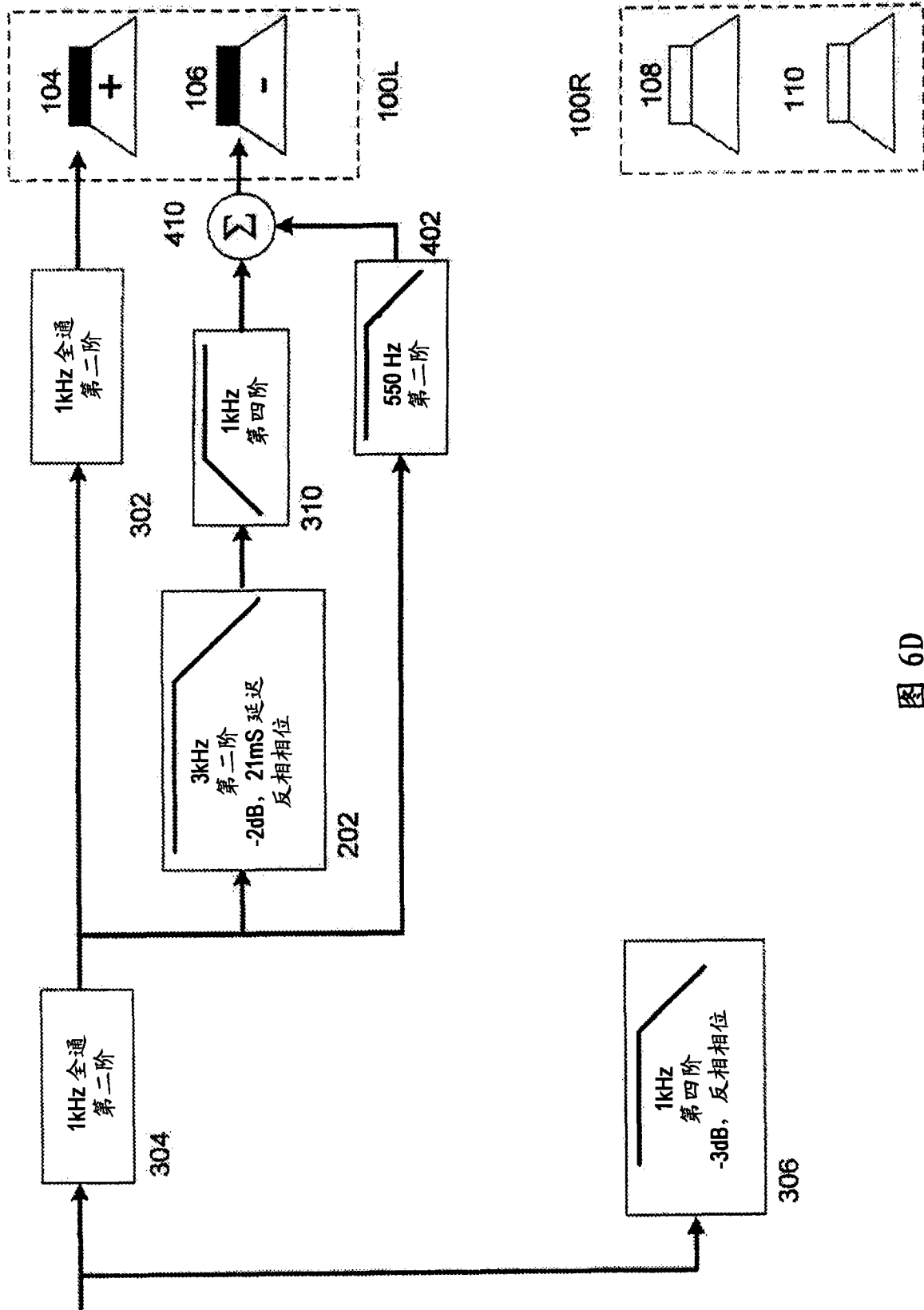


图 6D

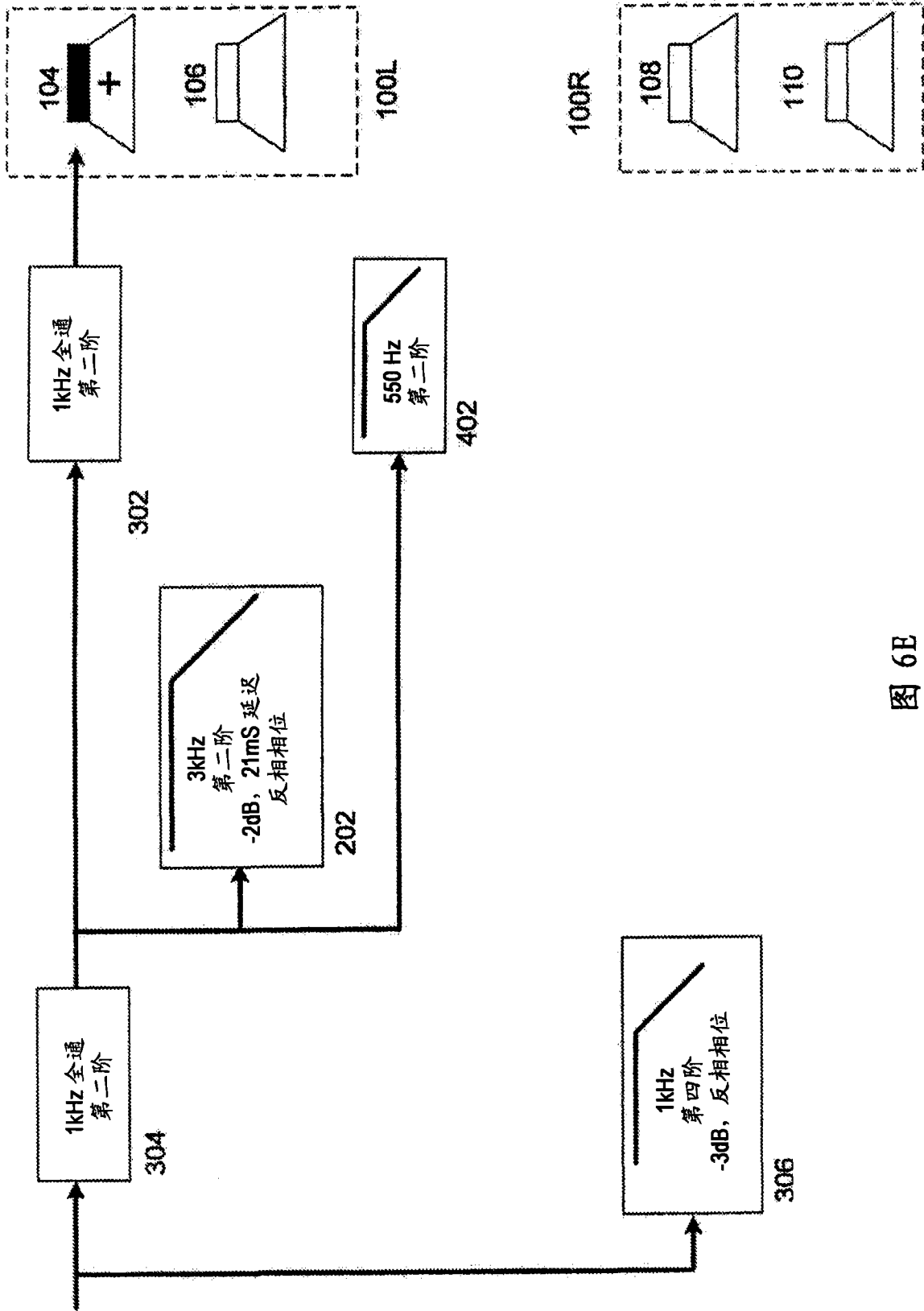


图 6E

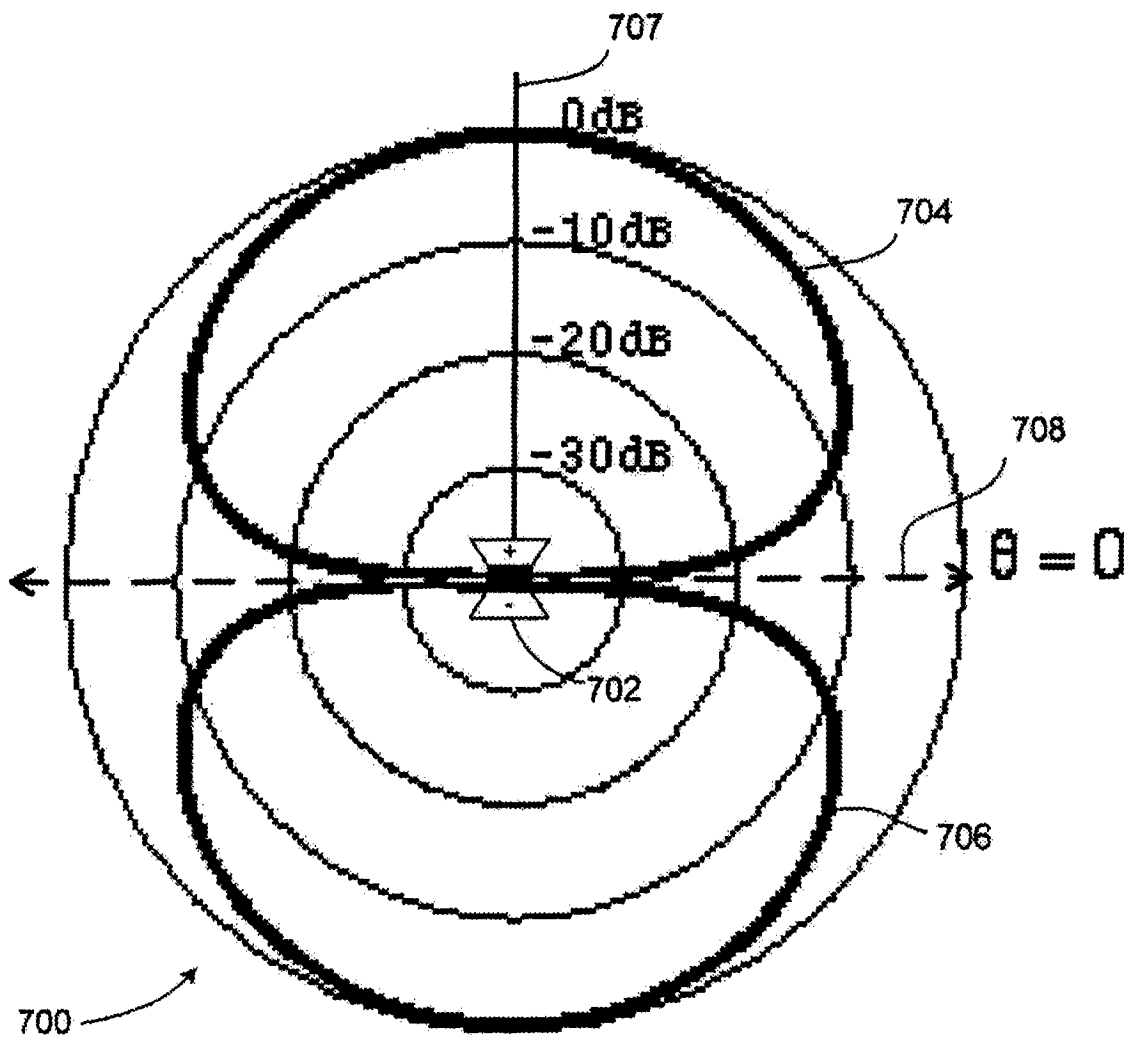


图 7A



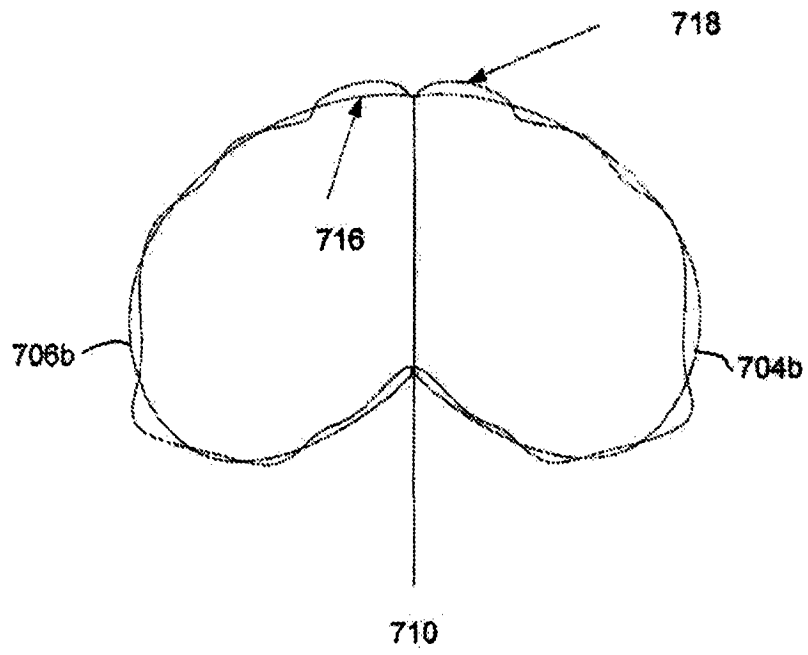


图 7B

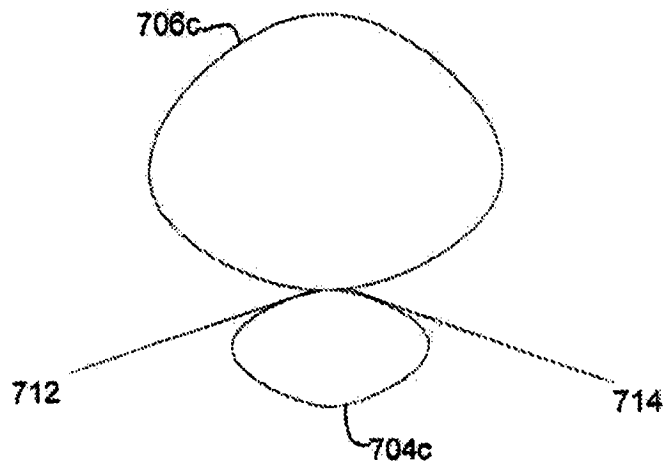


图 7C