



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105022316 B

(45)授权公告日 2019.05.03

(21)申请号 201510323088.5

(51)Int.CI.

(22)申请日 2015.05.01

G05B 19/042(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105022316 A

(56)对比文件

(43)申请公布日 2015.11.04

CN 102047693 A, 2011.05.04,

(30)优先权数据

CN 103037300 A, 2013.04.10,

PA201470269 2014.05.01 DK

CN 1294782 A, 2001.05.09,

(73)专利权人 GN瑞声达A/S

CN 102543060 A, 2012.07.04,

地址 丹麦巴勒鲁普

CN 102438189 A, 2012.05.02,

(72)发明人 A·德里夫 E·C·D·范德维尔夫

CN 102763326 A, 2012.10.31,

(74)专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

US 2009147975 A1, 2009.06.11,

代理人 顾小曼 杨震

JP 2009077198 A, 2009.04.09,

审查员 田萌

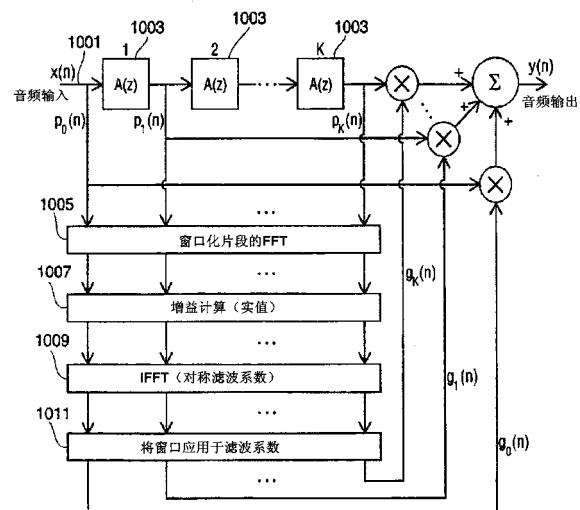
权利要求书3页 说明书14页 附图5页

## (54)发明名称

多频带信号处理器、听觉仪器、相关方法和数据载体

## (57)摘要

一种方法，包括：处理该数字音频输入信号以生成M个延迟数字音频信号样本；将该延迟数字音频信号样本转换为N个频带中的频域表示，以计算各信号频谱值；确定各信号电平估计；基于各信号电平估计和频带增益法则计算各频域增益系数；将该频域增益系数变换为时域表示，以生成处理滤波器的M个时变滤波器系数；利用该时变滤波器系数卷积该M个延迟数字音频信号样本，以生成处理的数字输出信号；并且根据逐样本或预定义块速率更新该延迟数字音频信号样本；其中该频带的至少两个的两个该信号频谱值以不同的速率更新；并且其中M和N为正整数。



100

1. 一种多频带信号处理器,包含:

信号输入,用于接收数字音频输入信号;

数字全通滤波器的级联,配置成接收所述数字音频输入信号,并且在所述数字全通滤波器之间插入的各引出节点生成M个延迟数字音频信号样本;

信号卷积处理器,配置成利用处理滤波器的M个时变滤波器系数卷积所述M个延迟数字音频信号样本,以生成处理的数字输出信号;

频域变换处理器,配置成将该M个延迟数字音频信号样本转换至频域表示,以在预定义数量的N个频带中生成各信号频谱值;

电平估计器,配置成基于各信号频谱值计算预定义数量的频带中的各信号电平估计;

处理增益计算器,配置成基于各信号电平估计和频带增益法则计算预定义数量的频带的每个的频域增益系数;

逆频域变换处理器,配置成将N个频域增益系数转换为该处理滤波器的M个时变滤波器系数,其中M和N为正整数;并且

特征在于,所述频域变换处理器配置成以不同的频带更新速率计算至少两个不同频带的信号频谱值。

2. 根据权利要求1所述的多频带信号处理器,其中所述信号卷积处理器配置成逐样本更新或以块更新,其中每个块包含复数个数字音频信号样本。

3. 根据权利要求1或2所述的多频带信号处理器,其中所述频域变换处理器配置成:

以第一频带更新速率计算至少第一频带的信号频谱值,

以比第一频带更新速率更低的更新速率计算至少第二频带的信号频谱值;

其中第一频带的中心频率高于第二频带的中心频率。

4. 根据权利要求2所述的多频带信号处理器,其中所述信号卷积处理器配置成在多个更新中更新,并且其中对于每个更新:

所述频域变换处理器配置成更新预定义数量的频带的子集的各信号频谱值;

所述电平估计器配置成更新所述频带的子集的各信号电平估计;

所述该处理增益计算器配置成更新所述频带的子集的各频域增益系数,并且保持剩余频带的频域增益系数;

所述逆频域变换处理器配置成将更新的频域增益系数和保持的频域增益系数转换为所述处理滤波器的M个时变滤波器系数。

5. 根据权利要求4的多频带信号处理器,其中所述频带的子集由所述预定义数量的频带的单个频带形成。

6. 根据权利要求1或2所述的多频带信号处理器,其中频域变换处理器配置成以恒定更新速率对各频带更新信号频谱值。

7. 根据权利要求6所述的多频带信号处理器,其中所述频域变换处理器配置成根据预定义重复频带更新调度在预定义数量的频带中更新各信号频谱值。

8. 根据权利要求1或2所述的多频带信号处理器,其中所述频域变换处理器配置成将所述频带中的每个的信号频谱值计算为M个延迟数字音频信号样本和与所述频带对应的离散傅里叶变换矩阵的一行的窗口化或未窗口化离散傅里叶变换系数之间的内向量积。

9. 根据权利要求4所述的多频带信号处理器,其中所述逆频域变换处理器配置成:

通过执行一组标量向量乘法将更新的频域增益系数和保持的频域增益系数转换为M个时变滤波器系数；

其中标量包括所述更新的频域增益系数或保持的频域增益系数，并且向量包含基于IFFT的合成矩阵的一行或一列系数。

10. 根据权利要求1或2所述的多频带信号处理器，其中所述处理增益计算器的频带增益法则的一个或多个配置成提供以下之一：

数字音频输入信号的多频带动态范围压缩，

数字音频输入信号的多频带动态范围扩展，

数字音频输入信号的噪声降低。

11. 一种用户使用的听觉仪器，该听觉仪器包含：

第一麦克风，用于响应于接收声音而生成第一麦克风信号，

音频输入通道，耦接于所述第一麦克风信号并配置成生成对应数字音频输入信号，

根据权利要求1~10中的任一项的多频带信号处理器，耦接于所述数字音频输入信号并且配置成根据所述用户的听觉损失接收和处理所述第一麦克风信号，

声音再现通道，用于接收所述处理的数字输出信号并转换为可听声音用于传输至用户。

12. 一种处理数字输入音频信号以生成处理的数字输出信号的方法，包含以下步骤：

a) 通过数字全通滤波器的级联，全通滤波所述数字输入音频信号以生成M个延迟数字音频信号样本，

b) 将所述M个延迟数字音频信号样本转换至预定义数量的N个频带的频域表示，以计算各信号频谱值，

c) 基于所述信号频谱值估计所述预定义数量的频带的各信号电平，

d) 基于各信号电平估计和各频带增益法则计算所述预定义数量的频带的各频域增益系数，

e) 将所述频域增益系数变换为时域表示以生成处理滤波器的M个时变滤波器系数，

f) 利用所述处理滤波器的M个时变滤波器系数卷积所述M个延迟数字音频信号样本以生成所述处理的数字输出信号，

g) 根据逐样本率或预定义块速率更新所述M个延迟数字音频信号样本，其中M和N为正整数；

特征在于，至少两个不同的频带的信号频谱值以不同频带更新速率更新。

13. 根据权利要求12所述的处理数字输入音频信号的方法，其中在所述M个延迟数字音频信号样本的每个样本更新，或每个块更新之后：

步骤b) 包含更新所述预定义数量的频带的子集的各信号频谱值，

步骤c) 包含更新所述频带的子集的各信号电平估计，

步骤d) 包含更新所述频带的子集的各频域增益系数并保持剩余的频带的先前的频域增益系数，

步骤e) 包含将更新频域增益系数和保持的频域增益系数转换为处理滤波器的M个时变滤波器系数的更新值。

14. 根据权利要求12或13所述的处理数字输入音频信号的方法，其中不同的频带子集

根据预定义重复频带更新调度在所述M个延迟数字音频信号样本的连贯样本更新,或连贯的块更新之间更新。

15.一种计算机可读数据载体,包含可执行的程序指令,所述程序指令在被执行时使得信号处理器执行权利要求12所述的方法的步骤a) -g)。

## 多频带信号处理器、听觉仪器、相关方法和数据载体

### 技术领域

[0001] 本公开涉及多频带信号处理器。

### 背景技术

[0002] 听觉仪器或听觉辅助典型地包含麦克风放大组件,其包括一个或多个麦克风,用于接收进入的声音诸如语音和音乐。该进入的声音转换为电麦克风信号或在听觉仪器的控制和处理电路根据一个或多个当前监听程序被放大和处理的信号。该监听程序已典型地从例如音频图中表达的用户的特定听觉缺陷或损失中计算。听觉仪器的输出放大器将处理的麦克风信号通过可连同麦克风包括于听觉仪器的外壳或单独在耳塞中的小型扬声器或接收器递送至用户的耳道。

[0003] 听觉受损者典型地遭受听觉灵敏度的损失,该损失依赖于被讨论的声音频率和等级。因此听觉受损者可像正常听觉人一样能够听到特定频率(例如,低频),但无法在其他频率(例如,高频)与非听觉受损者以同一灵敏度听到声音。类似地,听觉受损者可能感知较吵的声音,例如90dB SPL以上,具有与非听觉受损者相同的强度,但无法像非听觉受损者以相同的灵敏度听到轻柔声音。因此,在后一种情况,听觉受损者遭受到了特定频率或频带的动态范围的损失。多种现有的模拟和数字听觉辅助已被设计以减轻以上标识的具有动态范围损失的听觉缺陷。为补偿动态范围损失,现有技术的听觉仪器使用了所谓多频带动态范围压缩器,以压缩进入的声音的动态范围,以使压缩输出信号更紧密匹配目标用户的动态范围。输入动态范围与由多频带动态范围压缩器输出的动态范围的比率称为压缩比率。典型地,多频带动态范围压缩器配置以不同地执行,例如在不同的频带中不同的压缩比率和/或不同的攻击和释放时间常量,以解决频率相关的目标听觉受损用户动态范围损失。

[0004] US2003/0081804公开了基于快速傅里叶变换(FFT)的用于多频带动态范围压缩器的所谓侧分支体系结构。多频带动态范围压缩器使用侧分支用于音频输入信号的频率分析。FFT计算于来自应用于音频输入信号的第一级全通滤波器的级联的引出接头的弯曲频率标量。相同的引出延迟线同时用于FFT分析和时变FIR压缩滤波器。基于FFT的频率分析结果用于生成设置于信号路径的FIR压缩滤波器的系数。

[0005] 所公开的多频带动态范围压缩器的弯曲频率标量和侧分支体系结构产生了多个所需要的属性,诸如最小时延,因为直接信号路径仅包含短输入缓冲器和FIR压缩滤波器。其他值得注意的优点是,不存在混淆和分析频带的自然的对数缩放,良好地符合基于Bark的人类听觉频率标量。然而,公开的基于FFT的多频带动态范围压缩器存在特定不希望的属性。特别地,基于FFT的所有频带的信号频谱值的分析更新于相同块速率或频率,其可导致输入声音的高频组件的下采样。高频组件的下采样总体上是不希望的,因为其可导致在分析频带中频谱等级估计的混淆并且产生失常和扭曲,引起压缩增益因素或系数。

[0006] 此外,尽管相对高的块速率可在基于FFT的多频带动态范围压缩器中选择,以适应高频组件,其将导致分析滤波器的低频带比正确采样所需要的更快的更新,即低频带的过采样。尽管后者过采样属性不引起混淆扭曲,也浪费了执行基于FFT的多频带动态范围压缩

器的听觉仪器的信号处理器的计算资源。该过程由缩短电池寿命的听觉仪器带来了不必要的功耗。

## 发明内容

[0007] 从上述问题的角度,改进的多频带信号处理器,例如多频带动态范围压缩器,其允许分析滤波器的独立和弹性的频带更新速率将是有利的。该改进的多频带信号处理器将在选择分析滤波器的任何特定频带的块更新速率时提供更多的可伸缩性。因此,以弹性方式允许改进的多频带信号处理器与计算资源权衡的感知性能。

[0008] 本公开第一方面涉及多频带信号处理器,包含信号输入,用于接收数字音频输入信号,以及数字全通滤波器的级联,配置用于接收数字输入音频信号并在数字全通滤波器之间插入的各引出节点生成M个延迟数字音频信号样本。多频带信号处理器包含信号卷积处理器,配置用于利用处理滤波器的M个时变滤波器系数卷积M个延迟数字音频信号样本以生成处理的数字输出信号。频域变换处理器配置用于将M个延迟数字音频信号样本转换为频域,表示生成预定义数量的频带N中的各信号频谱值。电平估计器配置以基于各自的信号频谱值计算预定义数量的频带中的各信号电平估计。多频带信号处理器的处理增益计算器配置用于对预定义数量的频带的每一个基于各信号电平估计和频带增益法则计算频域增益系数。逆频域变换处理器配置用于将N个频域增益系数转换为处理滤波器的M个时变滤波器系数。频域变换处理器配置以计算在不同的频带更新速率至少两个不同的频带的信号频谱值。M和N的每一个为正整数。

[0009] 频域变换处理器在至少两个不同的频带中利用不同的频带更新速率的能力为预定义数量的频带的两个或多个提供了选择独立的更新速率的有利的灵活性。该特征使得当前多频带信号处理器的感知性能与计算资源以弹性方式相权衡。该特征还提出并解决了以上讨论的现有基于FFT的处理引起的使用同一更新速率对所有频带的问题。对所有频带相同的频带更新速率表示低频带的足够的频带更新速率典型地导致比足够的采样所需的高频带更高的更新速率。同样地,如果足够的频带更新速率被选择用于低频带,高频带将被下采样,导致高频带中的混淆和错误的电平估计。相反,当前频域变换处理器的能力对预定义数量的频带的两个或多个应用独立的频带更新速率表示每个频带可被提供以最佳的频带更新速率,一方面避免混淆扭曲而另一方面避免过采样和浪费计算资源。特定频带的更新速率可还基于多频带信号处理器的特定感知性能标准优化,诸如语音智能。以这种方式,频带更新速率在对所讨论的感知性能标准或准则有较大影响的频带可相对较高,并且频带更新速率在对感知性能标准有较小影响的频带可相对较低。因此,频域变换处理器的计算资源,电平估计器和处理增益计算器可分配至对感知性能标准重要的频带。

[0010] 多频带信号处理器优选地被设计以使延迟数字音频信号样本的数量,M,对听觉仪器应用而言为8和64之间的偶数。其对应于M-1数字全通滤波器。频带的预定义数量,N,被优选地选择以使 $N = (M/2) + 1$ 。在该实施例,对由频域变换处理器生成的每个频带存在单个频域增益系数。换言之,尽管有总的M个时变滤波器系数来处理M个延迟滤波器接头,仅该M个时变滤波器系数的 $(M/2) + 1$ 是唯一的。剩余的 $(M/2) - 1$ 时变滤波器系数由导致向量滤波器系数的对称组的实值增益向量的(逆)傅里叶变换来确定。该变换的细节描述于US2003/0081804。

[0011] 本领域技术人员将理解,如果频域变换处理器配置以将离散傅里叶变换(DFT)应用于计算频带的信号频谱值,设置 $N = (M/2) + 1$ 特别地方便。然而,频带的数量,N,可大于或小于 $(M/2) + 1$ 例如 $N = M/2$ 。总体上,当频域变换处理器(分析滤波器)和逆频域变换处理器(合成滤波器)被合适地匹配时,任何数量的 $N \leq M$ 可根据当前多频带信号处理器的特定应用的需求来使用。

[0012] 当前多频带信号处理器的信号卷积处理器既可逐样本本地更新也以块来更新。在前者的情况下,信号卷积处理器的更新速率对应于数字音频输入信号的采样率,即采样频率的倒数。采样频率将典型地根据由多频带信号处理器实现的处理的特定类型的特性变化。数字音频输入信号的采样频率在多频带信号处理器的听觉仪器应用中优选地在16kHz和48kHz之间。如果信号卷积处理器以块被更新,每个块可包含复数个数字音频信号样本,诸如4和64之间的数字音频信号样本。特定频带的频带更新速率确定该频带的信号频谱值多久由频域变换处理器计算一次。最大频带更新速率,其可应用于一个频带或预定义数量的频带的频带子集,对应于信号卷积处理器的更新速率。该最大频带更新速率可为信号卷积处理器的采样率或块速率。当频带或频带子集的信号频谱值被计算或更新时,对应信号电平估计和频域增益系数优选地被计算以使信号频谱值的改变反映于处理滤波器的M个时变滤波器系数的值。另一方面,在信号频谱值未被计算或更新用于信号卷积处理器的特定更新或时间步骤的剩余的频带,最近计算的信号频谱值被保持。其还表示对应信号电平估计和频域增益系数优选地被保持。

[0013] 如前所述,频带更新速率优选地适用于频带的位置,以使低频带总体上比高频带具有更低的频带更新速率。低频带可例如具有100Hz和500Hz之间的中心频率,而高频带可具有3kHz和8kHz之间的中心频率。因此,一个频域变换处理器的实施例配置以在第一频带更新速率计算至少第一频带的信号频谱值并且在比第一频带更新速率更低的更新速率计算至少第二频带的信号频谱值,诸如第一频带更新速率的0.5, 0.33或0.25倍。第一频带的中心频率高于第二频带的中心频率。

[0014] 本领域技术人员将理解,当前多频带信号处理器可适用于在多个类型的固定和便携式音频使能装置诸如听觉仪器,耳机,公共地址系统,智能电话,平板等执行数字音频信号的多种信号处理功能。当前多频带信号处理器可适用于由处理增益计算器的一个或多个频带增益法则的合适的设计执行信号处理功能,如音频输入信号的多频带动态范围压缩,音频输入信号的多频带动态范围扩展,音频输入信号的噪声降低等。

[0015] 对于信号卷积处理器的每个更新,频域变换处理器可配置用于更新各预定义数量的频带子集的信号频谱值,电平估计器可配置用于更新各频带子集的信号电平估计,处理增益计算器可配置用于更新各频带子集的频域增益系数和用于保持剩余频带的频域增益系数;并且逆频域变换处理器可配置用于将更新和保持的频域增益系数转换为处理滤波器的M个时变滤波器系数。

[0016] 本领域技术人员将理解,频域变换处理器可配置以在恒定速率更新预定义数量的频带中每个频带的信号频谱值。该恒定频带更新速率可由重复频带更新调度定义,如下文更详细地描述。虽然每个频带有恒定的频带更新速率,但频带更新速率可在所有频带之间不同,或可能存在多个频带子集,具有不同的更新速率。在另一频域变换处理器的实施例,每个频带的频带更新速率基于预测的需求独立地修改。预测需求可基于数字音频输入信号的

特定信号特性确定,如预测的变化率。自适应更新速率可带来当前多频带信号处理器的计算负载与性能权衡的进一步改进。

[0017] 如上述,频域变换处理器优选地配置以根据预定义重复频带更新调度更新预定义数量的频带中各自的信号频谱值。频域变换处理器可包含频带选择器,其选择要在卷积处理器的每个样本更新或块更新中更新的特定频带。频带选择器可因此根据带更新调度控制以哪种顺序,以哪一更新速率(多久一次)重新计算或更新任何特定频带的信号频谱值。本领域技术人员将理解,紧接在特定带中的信号频谱值的更新之后优选地是对所讨论的频带的电平估计和频域增益系数的对应更新。重复频带更新调度可以多种方式设计,例如通过利用如下文在附加的细节并参考附图所述的所谓调度矩阵。本领域技术人员将理解,重复频带更新调度的使用对频域变换处理器的操作在任何特定频带多久被更新,即频带更新速率,以及独立的频带被更新的顺序方面提供了显著的可伸缩性。该特征可被开发以优化特定频带的更新速率,已知其用于改进数字音频输入信号的频谱覆盖范围,即减少由带响应覆盖的时间-频率频谱的调制或间隙。

[0018] 当前多频带信号处理器的信号处理功能可由专用的数字硬件执行或可执行为运行于软件可编程信号处理器的一个或多个计算机程序,例程和执行线程。每个计算机程序,例程和执行线程可包含复数个可执行程序指令。可选地,信号处理功能可由专用的数字硬件和计算机程序,运行于软件可编程信号处理器的例程和执行线程的组合执行。例如以上提到的每个“频域变换处理器”,“信号卷积处理器”,“逆频域变换处理器”,“处理增益计算器”和“电平估计器”,可包含可执行于合适的微处理器的计算机程序,程序例程或执行线程,特别是数字信号处理器。微处理器和/或专用的数字硬件可集成于ASIC或实现于FPGA设备。

[0019] 频域变换处理器可配置以以多种方式计算M个延迟数字音频信号样本的信号频谱值而不依靠FFT算法。频域变换处理器优选的实施例使用离散傅里叶变换通过依靠向量乘向量的内积计算单个频带的信号频谱值。该频域变换处理器的实施例配置以:

[0020] 将每个频带的信号频谱值计算为M个延迟数字音频信号样本和对应于频带的离散傅里叶变换矩阵行的窗口化或未窗口化离散傅里叶变换系数之间的内向量积。

[0021] 逆频域变换处理器可配置以:通过执行一组标量向量乘法将更新和保持的频域增益系数转换为M个时变滤波器系数;

[0022] 其中标量包含更新或保持的频域增益系数,而向量包含基于IFFT的合成矩阵的一行或一列的系数。

[0023] 当前多频带信号处理器实现的特定信号处理功能可方便地由频带增益法则的控制特性定义。处理增益计算器的频带增益法则可在不同的频带之间不同。在一个示例性实施例,所有频带增益法则可配置以提供频带中各个信号的动态范围压缩,但特定压缩参数诸如压缩比率和时间常量可在独立的频带之间变化。在一个示例性实施例,频带增益法则可在不同的频带之间不同,以使预定义数量的频带的第一子集配置以提供动态范围压缩,另一频带子集提供动态范围扩展或噪声降低等。

[0024] 优选地,处理增益计算器的一个或多个频带增益法则配置以提供以下一者:

[0025] 音频输入信号的多频带动态范围压缩,

[0026] 音频输入信号的多频带动态范围扩展,

[0027] 音频输入信号的噪声降低。

[0028] 如在该说明书所使用的，术语“频带增益法则”指代配置以提供关联于音频输入信号的特定特征的任何函数，关系，公式和/或算法。频带增益法则可在某些实施例任意定义。

[0029] 本公开的第二方面涉及用户使用的听觉仪器。听觉仪器包含第一麦克风，用于响应于接收声音而生成第一麦克风信号，音频输入通道，耦接于第一麦克风信号并且配置以生成对应数字音频输入信号，根据任何上述实施例的多频带信号处理器，其耦接或连接于数字音频输入信号。多频带信号处理器配置用于根据用户的听觉损失接收并处理第一麦克风信号。听觉仪器包含声音再现通道，用于接收多频带信号处理器的处理的数字输出信号并转换为传输至用户的可听声音。

[0030] 本公开的第三方面涉及处理数字输入音频信号以生成处理的数字输出信号的方法，包含步骤：

[0031] a) 通过数字全通滤波器的级联对数字输入音频信号全通滤波，以生成M个延迟数字音频信号样本，

[0032] b) 将M个延迟数字音频信号样本转换为预定义数量频带的频域表示N，以计算各信号频谱值，

[0033] c) 基于信号频谱值估计预定义数量的频带的各信号电平，

[0034] d) 基于各信号电平估计和各带增益法则计算预定义数量的频带的各频域增益系数，

[0035] e) 变换频域增益系数至时域表示以生成处理滤波器的M个时变滤波器系数，

[0036] f) 利用处理滤波器的M个时变滤波器系数卷积M个延迟数字音频信号样本以生成处理的数字输出信号，

[0037] g) 根据逐样本率或预定义块速率更新M个延迟数字音频信号样本；其中至少两个不同的频带的信号频谱值以不同的速率更新并且M和N的每一个为正整数。

[0038] 根据处理数字输入音频信号的方法的优选的实施例，在M个延迟数字音频信号样本的每个样本更新，或每个块更新之后：

[0039] 步骤b) 包含利用各信号频谱值更新预定义数量的频带子集，

[0040] 步骤c) 包含更新频带子集的各个信号电平估计，

[0041] 步骤d) 包含更新频带子集的各频域增益系数并保持剩余频带的先前频域增益系数，

[0042] 步骤e) 包含将更新和保持的频域增益系数转换为处理滤波器的N个时变滤波器系数的更新值。

[0043] 本领域技术人员将理解，频带子集可仅包含单个频带。在后者的实施例，单个频带的信号频谱值更新用于每个步骤f) 的执行，其中M个延迟数字音频信号样本利用处理滤波器的M个时变滤波器系数卷积。其当卷积处理器运行于先前讨论的逐样本模式时特别有利，因为其通过先前讨论的带更新调度的合适的设计使某些频带具有高更新速率。

[0044] 优选地，不同的频带子集根据预定义重复频带更新调度在M个延迟数字音频信号样本的连贯样本更新，或连贯块更新之间更新。

[0045] 本公开的第四方面涉及计算机可读数据载体，包含可执行程序指令，配置以使信号处理器执行上述处理数字输入音频信号的方法的方法步骤a) -g) 以生成处理的数字输出

信号。计算机可读数据载体可包含磁盘,光盘,存储棒或其他任何合适的数据存储媒体。

[0046] 多频带信号处理器包括:信号输入,用于接收数字音频输入信号;数字全通滤波器的级联,配置成接收所述数字音频输入信号,并且在所述数字全通滤波器之间插入的各引出节点生成M个延迟数字音频信号样本;信号卷积处理器,配置成利用处理滤波器的M个时变滤波器系数卷积所述M个延迟数字音频信号样本,以生成处理的数字输出信号;频域变换处理器,配置成将该M个延迟数字音频信号样本转换至频域表示,以在N个频带中提供各信号频谱值;电平估计器,配置成基于各信号频谱值计算所述N个频带中的各信号电平估计;处理增益计算器,配置成基于各信号电平估计和频带增益法则计算N个频带的每个的频域增益系数;以及逆频域变换处理器,配置成将N个频域增益系数转换为该处理滤波器的M个时变滤波器系数;其中所述频域变换处理器配置成以不同的频带更新速率提供至少两个频带的至少两个信号频谱值;并且其中M为正整数,且N为正整数。

[0047] 可选地,信号卷积处理器配置以逐样本更新或以块更新,其中每个块包含复数个数字音频信号样本。

[0048] 可选地,频域变换处理器配置以:以第一频带更新速率计算N个频带中的第一频带的信号频谱值中的一个,以比第一频带更新速率更低的更新速率计算N个频带中的第二频带信号频谱值中的另一个;其中第一频带的中心频率高于第二频带的中心频率。

[0049] 可选地,信号卷积处理器配置以在多个更新中更新,并且其中对每个更新:所述频域变换处理器配置成更新N个频带的子集的信号频谱值的子集;所述电平估计器配置成更新N个频带的子集的信号电平估计的子集;并且所述该处理增益计算器配置成更新N个频带的子集的频域增益系数子集,并且保持N个频带的剩余频带的剩余的频域增益系数。

[0050] 可选地,频带子集由N个频带的单个频带形成。

[0051] 可选地,逆频域变换处理器配置以:将更新的频域增益系数和保持的频域增益系数通过执行一组标量向量乘法转换为M个时变滤波器系数;其中包括于标量向量乘法的标量包含更新的频域增益系数或保持的频域增益系数,并且包括于标量向量乘法的向量包含基于IFFT的合成矩阵的一行或一列的系数。

[0052] 可选地,频域变换处理器配置以对各频带在恒定更新速率更新信号频谱值。

[0053] 可选地,频域变换处理器配置以根据预定义重复频带更新调度更新信号频谱值。

[0054] 可选地,频域变换处理器配置以将至少一个信号频谱值计算为M个延迟数字音频信号样本和离散傅里叶变换矩阵的行的窗口化或未窗口化离散傅里叶变换系数之间的内向量积。

[0055] 可选地,一个或多个频带增益法则配置以提供数字音频输入信号的多频带动态范围压缩,数字音频输入信号的多频带动态范围扩展,或数字音频输入信号的噪声降低。

[0056] 一种用户使用的听觉仪器,该听觉仪器包含:多频带信号处理器;第一麦克风,耦接于多频带信号处理器;和扬声器,耦接于多频带信号处理器。

[0057] 一种处理数字音频输入信号以生成处理的数字输出信号的方法,包括:通过数字全通滤波器的级联对数字音频输入信号全通滤波,以生成M个延迟数字音频信号样本;将M个延迟数字音频信号样本转换为N个频带的频域表示以计算各信号频谱值;基于信号频谱值确定N个频带中的各信号电平估计;基于各自的信号电平估计和频带增益法则计算N个频带的各频域增益系数;将频域增益系数变换为时域表示以生成处理滤波器的M个时变滤波

器系数；利用处理滤波器的M个时变滤波器系数卷积M个延迟数字音频信号样本以生成处理的数字输出信号；以及根据逐样本率或预定义块速率更新M个延迟数字音频信号样本；其中至少两个N个频带的至少两个信号频谱值以不同的速率更新；并且其中M为正整数，N为正整数。

[0058] 可选地，该方法进一步包括：更新N个频带子集的信号频谱值的子集；更新N个频带子集的信号电平估计的子集；更新N个频带子集的频域增益系数的子集；并且保持N个频带的剩余频带的剩余频域增益系数。

[0059] 可选地，根据预定义重复频带更新调度更新M个延迟数字音频信号样本。

[0060] 一种计算机产品，包含存储可执行程序指令的非瞬时性介质，其由信号处理器执行将使任何先前的方法被执行。

[0061] 根据本发明，可以提供如下示例1至示例16的发明。

[0062] 示例1是一种多频带信号处理器，包含：

[0063] 信号输入，用于接收数字音频输入信号，

[0064] 数字全通滤波器的级联，配置成接收所述数字输入音频信号，并且在所述数字全通滤波器之间插入的各引出节点生成M个延迟数字音频信号样本，

[0065] 信号卷积处理器，配置成利用处理滤波器的M个时变滤波器系数卷积所述M个延迟数字音频信号样本，以生成处理的数字输出信号，

[0066] 频域变换处理器，配置成将M个延迟数字音频信号样本转换至频域表示，以生成预定义数量N的频带的各信号频谱值，

[0067] 电平估计器，配置成基于各信号频谱值计算预定义数量的频带中各信号电平估计，

[0068] 处理增益计算器，配置成基于所述各信号电平估计和频带增益法则计算预定义数量的频带的每一个的频域增益系数，

[0069] 逆频域变换处理器，配置成将N个频域增益系数转换为所述处理滤波器的M个时变滤波器系数；

[0070] 其中所述频域变换处理器配置以不同的频带更新速率计算至少两个不同的频带的信号频谱值；

[0071] 其中M和N的每一个为正整数。

[0072] 示例2是根据示例1的多频带信号处理器，其中信号卷积处理器逐样本更新或以块更新，其中每个块包含复数个数字音频信号样本。

[0073] 示例3根据示例1或2的多频带信号处理器，其中所述频域变换处理器配置成：

[0074] 以第一频带更新速率计算至少第一频带的信号频谱值，

[0075] 以比第一频带更新速率更低的更新速率计算至少第二频带的信号频谱值；

[0076] 其中第一频带的中心频率高于第二频带的中心频率。

[0077] 示例4是根据示例2的多频带信号处理器，其中对于所述信号卷积处理器的每个更新：

[0078] 所述频域变换处理器配置成更新所述预定义数量的频带的子集的各信号频谱值，

[0079] 所述电平估计器配置成更新所述频带子集的各信号电平估计，

[0080] 所述处理增益计算器配置成更新所述频带子集的各频域增益系数并保持剩余频

带的频域增益系数,所述逆频域变换处理器配置成将所述更新和保持的频域增益系数转换为所述处理滤波器的M个时变滤波器系数。

[0081] 示例5是根据示例4的多频带信号处理器,其中所述频带子集由所述预定义数量的频带的单个频带形成。

[0082] 示例6是根据任何前述示例的多频带信号处理器,其中所述频域变换处理器配置成在恒定更新速率更新每个频带的信号频谱值。

[0083] 示例7是根据示例6的多频带信号处理器,其中所述频域变换处理器配置成根据预定义重复频带更新调度来更新所述预定义数量的频带中的各信号频谱值。

[0084] 示例8是根据任何前述示例的多频带信号处理器,其中所述频域变换处理器配置成:

[0085] 将每个所述频带的信号频谱值计算为M个延迟数字音频信号样本和对应于所述频带的离散傅里叶变换矩阵的一行的窗口化或未窗口化离散傅里叶变换系数之间的内向量积。

[0086] 示例9是根据示例4的多频带信号处理器,其中所述逆频域变换处理器配置成:

[0087] 通过执行一组标量向量乘法将更新和保持的频域增益系数转换为M个时变滤波器系数;

[0088] 其中所述标量包含更新的或保持的频域增益系数,并且所述向量包含基于IFFT的合成矩阵的一行或一列系数。

[0089] 示例10是根据任何前述示例的多频带信号处理器,其中所述处理增益计算器的一个或多个频带增益法则配置以提供以下之一:

[0090] 所述音频输入信号的多频带动态范围压缩,所述音频输入信号的多频带动态范围扩展,所述音频输入信号的噪声降低。

[0091] 示例11是一种用户使用的听觉仪器,所述听觉仪器包含:

[0092] 第一麦克风,用于响应于接收声音而生成第一麦克风信号,

[0093] 音频输入通道,耦接于第一麦克风信号并配置以生成对应数字音频输入信号,

[0094] 根据任何前述示例的多频带信号处理器,耦接于所述数字音频输入信号并且配置成根据所述用户的听觉损失接收和处理第一麦克风信号,

[0095] 声音再现通道,用于接收所述处理的数字输出信号并转换为可听声音用于传输至用户。

[0096] 示例12是一种处理数字输入音频信号以生成处理的数字输出信号的方法,包含以下步骤:

[0097] a) 通过数字全通滤波器的级联,全通滤波所述数字输入音频信号以生成M个延迟数字音频信号样本,

[0098] b) 将所述M个延迟数字音频信号样本转换至预定义数量N的频带的频域表示,以计算各信号频谱值,

[0099] c) 基于所述信号频谱值估计所述预定义数量的频带的各信号电平,

[0100] d) 基于各信号电平估计和各频带增益法则计算所述预定义数量的频带的各频域增益系数,

[0101] e) 将所述频域增益系数变换为时域表示以生成处理滤波器的M个时变滤波器系

数，

[0102] f) 利用所述处理滤波器的M个时变滤波器系数卷积所述M个延迟数字音频信号样本以生成所述处理的数字输出信号，

[0103] g) 根据逐样本率或预定义块速率更新所述M个延迟数字音频信号样本；

[0104] 其中至少两个不同的频带的信号频谱值以不同的速率更新；

[0105] 其中M和N的每一个为正整数。

[0106] 示例13是一种根据示例12的处理数字输入音频信号的方法，其中在所述M个延迟数字音频信号样本的每个样本更新，或每个块更新之后：

[0107] 步骤b) 包含利用各信号频谱值更新所述预定义数量的频带的子集，

[0108] 步骤c) 包含更新频带的子集的各信号电平估计，

[0109] 步骤d) 包含更新所述频带子集的各频域增益系数并保持所述剩余的频带的先前的频域增益系数，

[0110] 步骤e) 包含将所述更新和保持的频域增益系数转换为处理滤波器的M个时变滤波器系数的更新值。

[0111] 示例14是根据示例13的处理数字输入音频信号的方法，其中所述频带子集仅包含单个频带。

[0112] 示例15是根据示例13或14的处理数字输入音频信号的方法，其中频带的不同的子集根据预定义重复频带更新调度在所述M个延迟数字音频信号样本的连贯样本更新，或连贯的块更新之间更新。

[0113] 示例16是一种计算机可读数据载体，包含可执行程序指令，配置以当执行时使信号处理器执行示例12的方法步骤a) -g)。

[0114] 其他和进一步方面和特征将在阅读如下实施例的详细描述后显而易见。

## 附图说明

[0115] 实施例将结合附图更详细地描述，其中：

[0116] 图1为现有技术的基于快速傅里叶变换(FFT)的具有侧分支体系结构的多频带动态范围压缩器的示意性框图，

[0117] 图2示出了根据某些实施例多频带动态范围压缩器的简化示意性框图，

[0118] 图3为说明图2的多频带动态范围压缩器的压缩滤波器的一组时变压缩滤波器系数计算的示意性框图，

[0119] 图4A) 说明了用于图2的多频带动态范围压缩器的基于矩阵填充方法的第一示例性带更新调度，

[0120] 图4B) 说明了包含重复频带模式的图2的多频带动态范围压缩器的第二示例性带更新调度；并且

[0121] 图5示出了利用图4B) 所示的带更新调度优化频谱覆盖范围的多频带动态范围压缩器的处理输出信号的时间频率图。

## 具体实施方式

[0122] 多种实施例在参考附图之后在此描述。应当注意，附图不一定按比例绘制，并且相

似结构或功能的元素在整个附图中由相同参考数字表示。还应注意，附图仅意图实现实施例的描述。其并非意图作为要求保护的发明的穷举式描述或要求保护的发明的范围的限制。此外，所说明的实施例不需要示出所有的方面或优点。结合特定实施例描述的方面或优点不一定限于该实施例，而是可实施于其他任何实施例，即使没有说明，或如果没有明确描述。

[0123] 图1为现有技术基于快速傅里叶变换(FFT)的具有所谓侧分支体系结构的多频带动态范围压缩器100的示意性框图。多频带动态范围压缩器100使用侧分支进行音频输入信号的频率分析，压缩增益系数计算和频率合成。数字音频输入信号 $x(n)$ 施加在多频带动态范围压缩器100的输入1001和通过K个第一级全通滤波器A(z)的级联传播，以生成一系列延迟数字音频信号样本 $p_0(n) - p_K(n)$ 。第一级全通滤波器的使用，不同于传统纯粹的延迟，将频率分析和频率合成所实现的频率标量变换为具有如先前讨论的多个所需属性的所谓弯曲频率标量。一系列延迟样本 $p_0(n) - p_K(n)$ 然后被窗口化并且FFT利用窗口化序列1005计算。FFT的结果为Bark频率标量中恒定间隔采样的频谱。由于输入数据序列被窗口化，频谱在弯曲频域被平滑，由此产生重叠频带。频域电平估计(例如，功率频谱)计算自弯曲FFT和频域增益系数(例如，压缩增益)，然后计算自用于听觉分析带1007的弯曲功率频谱。由于频域增益系数为纯实数，弯曲时域滤波器的逆FFT产生了一组滤波器系数，其为实数并且具有偶对称1009。系统音频输出 $y(n)$ 然后通过利用压缩增益滤波器1011卷积延迟数字音频信号样本 $p_0(n) - p_K(n)$ 序列来计算，其中 $g_K(n)$ 为压缩滤波器系数。FFT操作1005，运行在预定义块速率，例如对于24个样本，每块在16kHz采样频率为1.5毫秒，导致所有频带中功率频谱的同步更新，因此所有频带相同的更新速率导致先前讨论的问题。

[0124] 图2为根据某些实施例的多频带信号处理器200的简化示意性框图。在该实施例，多频带信号处理器配置作为多频带动态范围压缩器200，但本领域技术人员将理解，其他信号处理功能诸如多频带扩展或噪声降低通过合适的修改可实现于其他多频带信号处理器的实施例。

[0125] 多频带动态范围压缩器200包含信号输入，音频输入，用于接收数字音频输入信号至压缩器200。通过压缩器200的直接音频信号路径包含M-1数字全通滤波器201a, 201b, … 201M-1的级联，其接收数字输入音频信号，在数字全通滤波器之间插入的各引出节点(黑点)生成复数个延迟数字音频信号样本。级联的数字全通滤波器201a, 201b, … 201M-1的数量将根据压缩器200的特定应用的性能和功率需求变化。在听觉仪器应用的多频带压缩的多个可用实施例中，数字全通滤波器的数量，M-1，可在7和63之间，以在8和64之间相应地在引出节点生成延迟数字音频信号样本。

[0126] 直接音频信号路径还包括具有求和功能215的信号卷积处理器，耦接于M个乘法器202a…202M的M个输出。信号卷积处理器配置用于在预定义更新速率利用压缩滤波器的M个时变压缩滤波器系数 $g_1-g_M$ 卷积复数个延迟数字音频信号样本的连贯样本，或样本块，以在多频带压缩器200的数字音频输出，音频输出(n)生成处理的数字输出信号。N为正整数并且优选地等于，或小于M。本领域技术人员将理解，更新速率可根据多频带压缩器200的处理为基于块还是基于逐样本而变化。在基于块的多频带压缩器200的实施例，样本块可包含在引出节点保持的M个延迟数字音频信号样本的所有，或任何子集。多频带压缩器200的逐样本更新速率允许后者对数字音频输入信号中的冲击噪声，或其他不需要的瞬变特别快速地响

应,由此减少用户不适感。本领域技术人员将理解,引出节点 $202k, k=1, 2, \dots, M$ 执行乘法 $x_k(n) * g_k(n)$ ,其中“\*”指代乘法, $x_k(n)$ 为在时刻n,延迟线即数字全通滤波器的级联的第k个接头的信号, $g_k(n)$ 为时刻n第k个时变压缩滤波器系数。求和节点215简单地对其输入求和并传输结果至输出,音频输出(n)。信号卷积处理器执行计算:

[0127] 音频输出(n) =  $\sum_k [x_k(n) * g_k(n)]$ ,其中 $\sum_k$ 指代k=1至M的求和。

[0128] 多频带压缩器200还包括所谓侧链处理器或功能205,包含频域变换处理器203(通常指“分析滤波器库”),逆频域变换处理器209(通常指“合成滤波器库”)和在两个前者变换处理器203,209之间插入的处理增益计算器207。侧链处理器或功能205最终包含频带选择器206,其控制在复数个独立的频带的任何特定频带中信号频谱值和伴随的频域增益系数以何种顺序,以及多久一次被计算或更新,如以下参考图3进一步详细说明。侧链处理器205的输出是先前讨论的N个时变压缩滤波器系数,或压缩向量, $g_1-g_M$ 。M个延迟数字音频信号样本应用于频域变换处理器203的输入,其转换延迟数字音频信号样本至频域表示,以在变换过程生成的预定义数量的频带的每一个生成信号频谱值。频带的数量可对应于 $M/2+1$ ,以使设置 $M=32$ 对应于17个频带。该频带优选地重叠于由窗口函数例如汉宁(Hanning)窗口控制的重叠。

[0129] 频域变换处理器203,或可选地处理增益计算器207,包含电平估计器(图2未示出但在图3示出为对象313),其配置以对每个频带基于所讨论的频带中所确定的信号频谱值计算信号电平估计。信号电平估计可例如包含振幅,功率或能量等级估计。每个频率的电平估计还可包括特定时间常量,诸如攻击时间和释放时间。频带增益法则可例如在所讨论的频带中定义音频信号的特定压缩比率。压缩比率可在数字音频输入信号的所有电平中恒定,或在数字音频输入信号的动态范围可变。频带增益法则可以多种方式定义。在一个实施例,频带增益法则可通过查找表定义,将信号电平估计的值映射至频域增益系数 $G_k$ 的对应值。频带增益法则可在不同的频带之间不同或在两个或多个频带完全相同。然而,使用不同的频带增益法则通常是有利的,由此在至少两个不同的频带中通常不同的压缩参数,为听觉受损用户带来听觉损失的最佳听觉损失补偿。

[0130] 计算的频域增益系数 $G_k$ 传送至逆频域变换处理器209,其配置以通过如下文描述的系数合成转换频域增益系数为压缩增益滤波器的M个时变压缩滤波器系数 $g_1-g_M$ 。

[0131] 如上述,频带选择器206控制复数个独立的频带的任何特定频带中的信号频谱值以哪种顺序,以及多久一次被计算或更新。优选地,至少两个不同的频带的信号频谱值的频带更新速率是不同的。低频带的频带更新速率,例如以200Hz为中心,可例如总体上低于高频带的频带更新速率,例如5kHz左右为中心,以使更多的计算资源用于准确地估计高频带的信号电平。这是有利的,因为进入的声音等级可能期望更快地变化,例如由先前讨论的冲击噪声导致。高频带的频带更新速率可例如等于多频带压缩器200的卷积处理器的块速率或逐样本更新速率。逐样本更新速率对应于选择的数字音频输入信号的采样频率的倒数。该采样频率对于典型听觉仪器应用可在16kHz和48kHz之间。样本块可包含4和64之间的样本。低频带更新速率可另一方面对应于每个第二,第三,第四等样本或每个第二,第三,第四等样本块,以使低频带的更新速率变成至少小于高频带的更新速率2倍。不同的频带之间更新速率的这种差别与先前讨论的基于快速傅里叶变换(FFT)的多频带动态范围压缩器100的现有技术相反,其中由于基于FFT的块处理,所有频带中的功率频谱的更新速率是相

同的。

[0132] 图3为示意性框图300,进一步详细说明了先前讨论的M个时变压缩滤波器系数 $g_1-g_M$ 如何在图2的侧链功能205或多频带压缩器200的分支被计算。M个延迟数字音频信号样本 $x_n-x_{n-M+1}$ 应用于频域变换处理器203各乘法器的输入。频域表示的变换在当前实施例由短期傅里叶变换(STFT)算法实现,其中STFT系数的加权通过合适的窗口函数产生于窗口化,例如汉宁窗口。计算采用了以下属性的优点,即M个延迟数字音频信号样本 $x_n-x_{n-M+1}$ 和STFT系数矩阵之间的乘积,其为矩阵向量积,可执行为向量-向量积的序列。更特别地,STFT系数第k行的M个系数之间的内积,由详细的流程图203a的STFT矩阵和M个延迟数字音频信号样本的 $W_{1k}-W_{Mk}$ 所说明,确定分析滤波器203的第K个频带的更新的信号频谱值。第k个频带更新的信号频谱值出现在求和函数311的输出。第k个频带中信号频谱值的信号电平估计 $P_k$ 在功率估计函数313确定,其中对数功率估计通过调整信号频谱值并且采用结果的对数来形成。信号电平估计 $P_k$ 应用于先前讨论的处理增益计算器207,其基于先前讨论的第k频带的频带增益法则计算频域增益系数 $G_k$ 的对应更新值。另一方面,剩余的N-1频带中每个频域增益系数在当前采样周期仍未处理或更新的先前值由侧链处理器或功能205的合适的存储元件(未示出)保持。STFT系数和M个延迟数字音频信号样本之间的内向量积对预先选择的一组STFT向量的每一个来执行,每一个包含STFT系数的特定行,例如 $W_{19}-W_{M9}$ 和 $W_{13}-W_{M3}$ 等,分别对应于第9个频带和第13个频带。以这种方式,每个频带的信号频谱值以由频带选择器206控制的预定义顺序或序列计算。顺序或序列定义了预定义带更新或带采样调度,其确定任何特定频带的信号频谱值以什么顺序或多久一次被计算或更新。

[0133] 示例性带更新或采样调度400在图4A)说明,在一个实施例用于上述多频带压缩器200,M=32和17的不同的频带。此外,在当前实施例,信号卷积处理器在逐样本率更新并且示例性带采样调度400的特性适用于该逐样本更新速率。本领域技术人员将理解,可选的实施例的信号卷积处理器可在合适的块速率和与其适配的带更新调度更新。

[0134] 带采样调度400布局为调度矩阵400,其包含8列和6行整数,其为频带指数,定义17个不同的频带的特定频带。在多频带压缩器的信号卷积处理器的每个样本更新,单个频带仅被处理和更新。在任何特定采样时间要更新或处理的频带的数量由“频带更新调度”表示。现考虑通过调度矩阵400由闭环调度曲线402表示的列式轨道。该轨道定义了频带更新调度。在每个采样周期,频带选择器206进入频带更新调度的下一条目,由此选择要更新或处理的频带。闭环调度曲线402的方向因此示出了频带在哪个方向和顺序被更新/采样以及其各电平估计和更新伴随频域增益系数。例如,如果在采样时间步骤n闭环调度曲线402位于矩阵条目(3,7),则选择的频带为数字13,由调度矩阵400的圆环405表示。在后续采样时间步骤(n+1),闭环调度曲线将在矩阵条目(4,7)并且频带数量15将被更新。

[0135] 闭环调度曲线402的封闭特性表示,带更新或采样调度在每 $6*8=48$ 个采样周期或时间步骤之后重复。注意,通过构造,矩阵填充方法保证在相同频带的选择和更新之间的采样时间段或步骤的数量,即频带更新速率或带采样周期,对每个频带保持恒定。例如,频带4的频带更新速率为48个采样周期,对应于通过调度矩阵400的完整的游程。对于数字音频输入信号的16kHz采样频率,其对应于近似3毫秒的频带更新速率。对于频带9,频带更新速率为24个采样周期并且对于频带16,频带更新速率为6个采样周期,其分别对应于近似1.5毫秒和0.375毫秒。

[0136] 因此,频带4,9和16的频带更新速率在其特定实施例均不同。换言之,通过利用调度矩阵400方法生成有效带更新调度的不同的特征在于通过构造频带更新速率是恒定的,对于任何给定的带数量可能是唯一的。如果频带选择器206配置以在“填充”调度矩阵400时更加频繁地重复该模式,对于任何特定频带的更新可被增加。本领域技术人员将理解,带更新调度可以多种方式构建,并可适用于专用性能需求。带调度例如可被构建以使每个频带具有自身的唯一更新速率/采样周期,即两个频带不会在每个频带的更新速率保持恒定的同时来调度。通过“矩阵填充方法”构建的带调度的一种方式通过调度矩阵400说明。在第一行,数字1至8被设置。在第二行,数字9至12;在第三行,数字13和14,第四至第六行保持数字15至17。已被填充的矩阵条目利用灰色背景加暗。第1行被完全填充,但第2至6行仅部分被填充。现在每行的开放位置可由在每行重复初始数字模式填充。例如,第3行现定义频带13,14,13,14,13,14,13,14,即四次重复模式13,14。调度矩阵400现利用(多个)频带指数1至17填充。

[0137] 本领域技术人员将理解,通过上述矩阵填充方法的多个变型是可能的。例如,可以将不同大小的矩阵填充以数字1至17,其产生不同的频带更新调度。可选地,对于具有17个频带的滤波器库,可利用多于17的数字填充矩阵,例如1至20的数字。每次大于17的频带数量被选择,没有可用频带将被更新或处理。该机制将导致滤波器库,其中在每个采样时间段单个带或没有频带被处理。该带更新调度是有利的,因为其使电池消耗与多频带压缩器的感知性能相权衡。在相同的纹理,调度矩阵400还可对具有小于17个频率带的任何滤波器库描述可能的带更新调度。最终,可对带调度矩阵400进行排列,例如,交换带调度矩阵400中的频带数量8和14导致不同的,但有效带更新调度。产生有效调度的对带调度矩阵400的进一步特别地修改也是可能的。排列带更新调度的重要理由在于改进频谱覆盖范围,即减少带响应覆盖的时间频率频谱的调制或间隙。带采样调度的优化频谱覆盖范围的示例在图5的时间频率图示出,对应( $9 \times 4$ )调度矩阵400a在图4B示出。

[0138] 此外,显而易见的是,示例性的带采样调度400对至少多个低频带诸如带1,2,3,4和5定义比高频带诸如带14,15和16更低的频带更新速率。此外,显而易见的是,带采样调度的未约束的设计空间在何时更新信号频谱值方面提供了更多的可伸缩性,并且对于特定频带的对应电平估计和频域增益系数。因此,对于与先前讨论的现有基于FFT的多频带动态范围压缩器100相同的感知性能,可通过频带的独立频带更新速率显著降低计算负载。在高级模式,每个频带的频带更新速率可基于预测需求独立地修改。

[0139] 当选择的频带根据带采样调度更新时压缩增益滤波器被优选地更新,以使所有M个时变压缩滤波器系数 $g_1-g_M$ 的更新值对每个采样时间段计算。为使用时域的压缩增益滤波器,即确定反映第k个带的频域增益系数 $G_k$ 的更新值的M个时变压缩滤波器系数 $g_1-g_M$ 的更新值,需要变换回时域。原理上至少两个不同的方式可实现:(1)在频域增益系数 $G_k$ 执行IFFT并且与合适的合成窗口元素级相乘,或(2)如逆频域变换处理器209的详细流程图209a的说明来进行并且使用矩阵-向量乘法,其中矩阵直接将合适的IFFT基础向量合并于合适的合成窗口。利用后一种方法,并且考虑仅一个频带在每采样时间段被更新,压缩滤波器系数 $g_1-g_M$ ,或系数向量,由标量向量乘法增量更新,其中标量为所讨论的频域增益系数,即对第k个频带为 $G_k$ 以此类推,并且向量为来自基于IFFT的合成矩阵的一行或一列系数。为以这种方式进行,频域增益系数 $G_k$ 最初通过求幂函数315从对数函数313生成)将 $G_k$ 转换

为线性表示。在后续步骤，选择的第k个频带的频域增益系数G<sub>k</sub>的先前值用减法器317从G<sub>k</sub>的当前值减去，导致频域增益系数G<sub>k</sub>的值更新或递增。接下来，频域增益系数的增量值用加权逆傅里叶系数从表示为详细流程图209a的系数V<sub>1k</sub>-V<sub>Mk</sub>的基于IFFT的合成矩阵相乘。该步骤将计算的频域增益系数的增量值变换为每个压缩滤波器系数g<sub>1</sub>-g<sub>M</sub>的对应增量或更新。压缩滤波器系数g<sub>1</sub>-g<sub>M</sub>的增量或更新对应于第k个频带的频率域增益系数的更新。该滤波器系数增量通过连接于每个压缩滤波器系数g<sub>1</sub>-g<sub>M</sub>的存储器/延迟和加法函数319a,319b增加至先前的滤波器系数的各值。因此，更新了压缩滤波器系数g<sub>1</sub>-g<sub>M</sub>值。本领域技术人员将理解，后一种在固定点算术中转换的执行可导致舍入误差的累加。因此，优选地偶尔利用全带逆离散傅里叶变换替换上述描述的合成机制。后者复位或消除了任何累加的舍入误差。

[0140] 图5为时间频率图500，其说明了由在多频带压缩器200的17个频带的版本中采用图4B示出的调度矩阵400a实现的优化频谱覆盖范围。频率轴为从0Hz至8000Hz线性，其对应于所利用的多频带压缩器200的音频输入信号的16kHz采样率的奈奎斯特频率。y轴描述音频信号采样的时间，以使100个样本对应于约6.25毫秒。时间频率图中的灰度级表示滤波器库的相对频谱覆盖范围。在图中给定时间频率坐标的白/亮色(对应于刻度502的约1.0)表示滤波器库能够较好地解决频谱的时间频率位置。在该环境，“较好地解决”表示，在所讨论的频谱位置的任何音频输入信号被频谱功率估计P<sub>k</sub>合适地测量或检测。另一方面刻度502的黑色(对应于约0.0-0.2)表示在该时间频率位置的任何音频输入信号将通过执行于多频带压缩器的侧链处理器的带功率估计过程保持大范围未检测。时间频率图的每17个频带的位置由对应带指数表示。显然，由调度矩阵400a定义的所选择的带采样调度在用于语音智能的约100Hz和4kHz之间重要频率范围产生了较好的频谱覆盖范围。其由频带1-13的时间内的相对白色或浅灰色说明。频带14至17的分辨率更小或更坏，但该频带对语音智能较不重要。其决定于带采样调度的设计者决定频谱覆盖范围特性是否匹配附近的应用。通过改变带采样调度，设计者可以非常直接的方式和高度弹性方式影响频谱覆盖范围模式的属性，如先前说明。

[0141] 尽管已经示出并描述了特定实施例，应当理解，其并非意图将所要求保护的发明限制于优选的实施例，并且对本领域技术人员显而易见的是，可作出多种变化和修改，而不偏离所要求保护的发明的精神和范围。因此，说明书和附图应当视为说明性的而不是限制性的。所要求保护的发明意图涵盖可选项，修改和等价物。

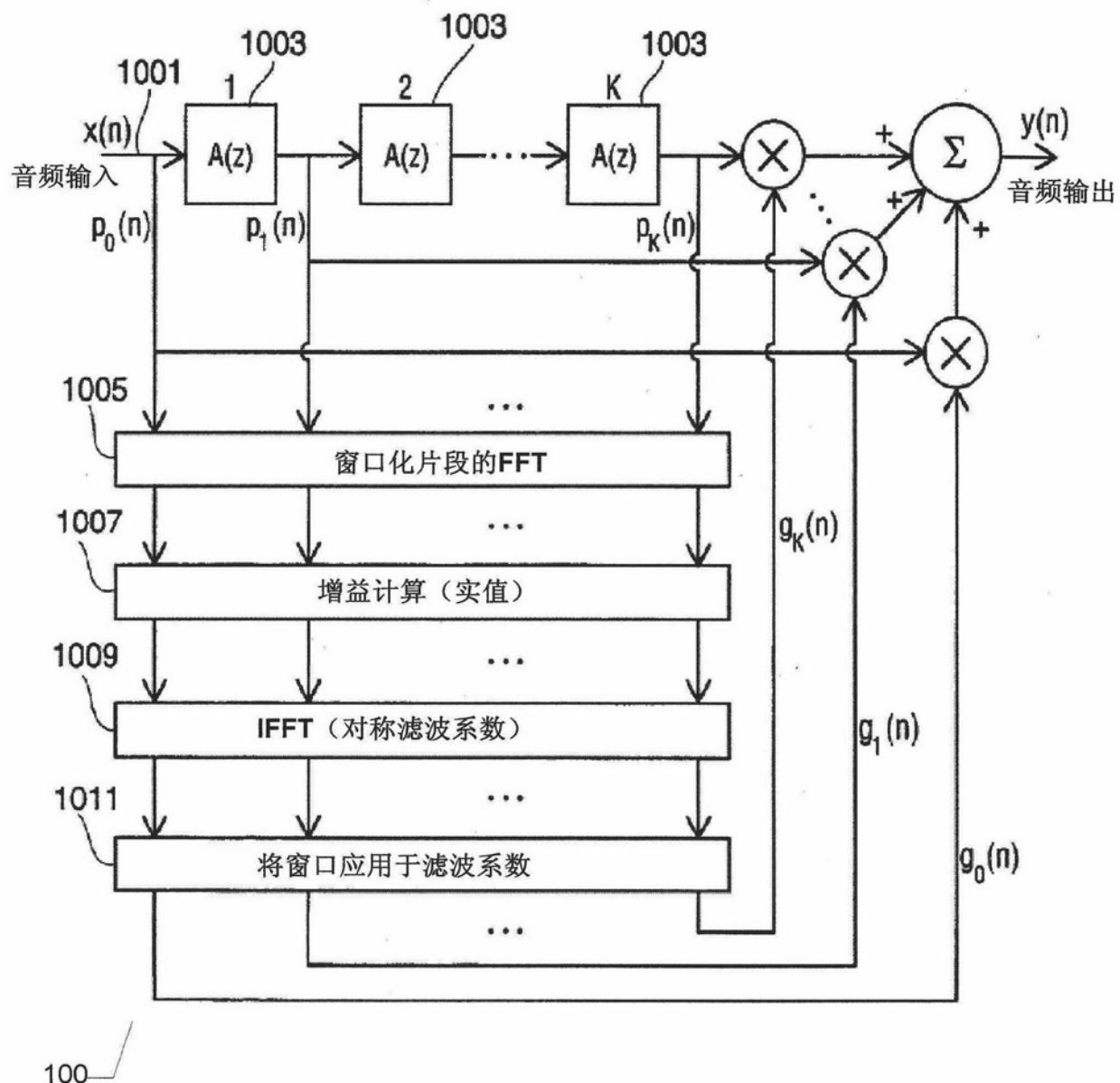


图1

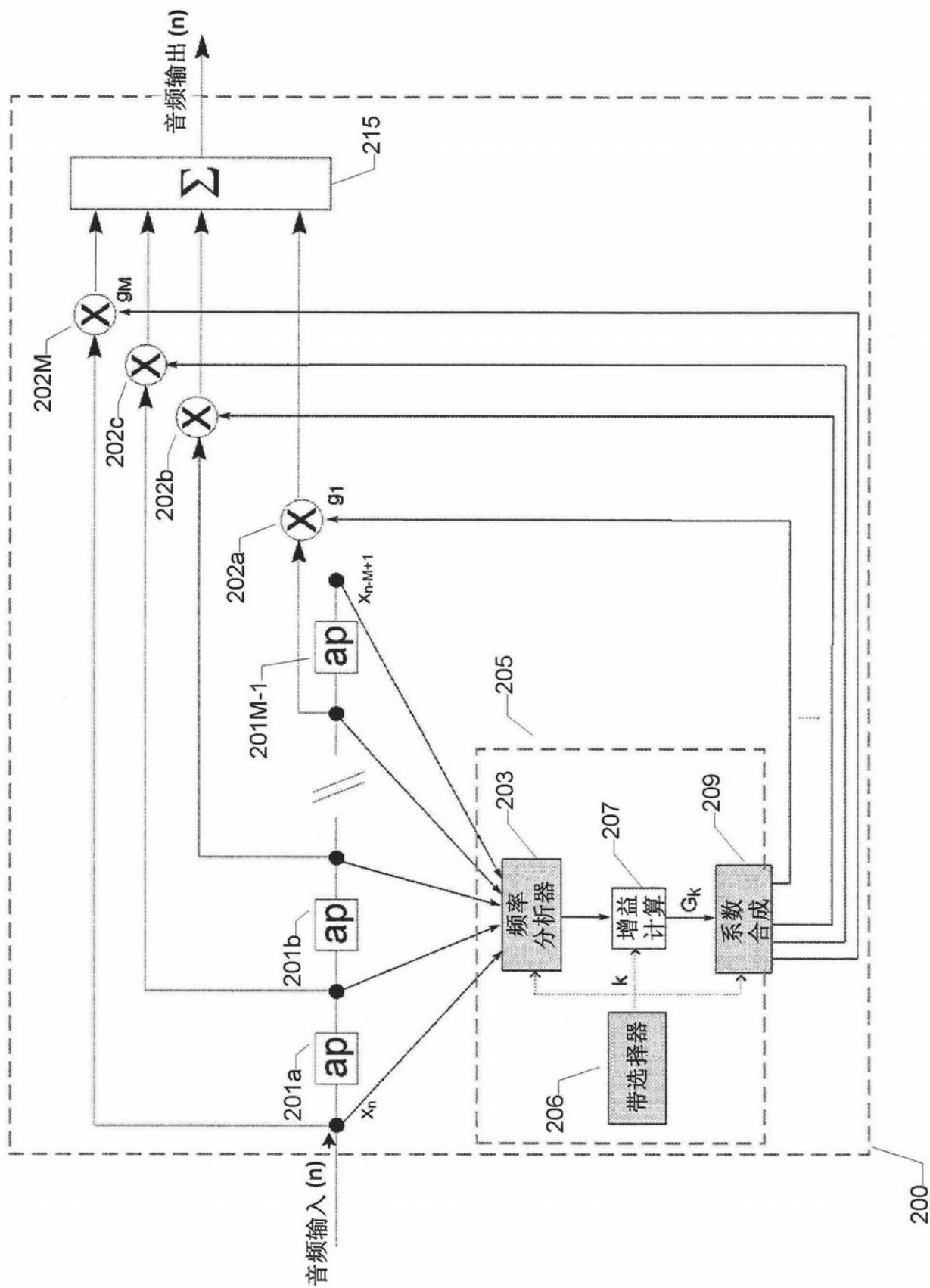


图2

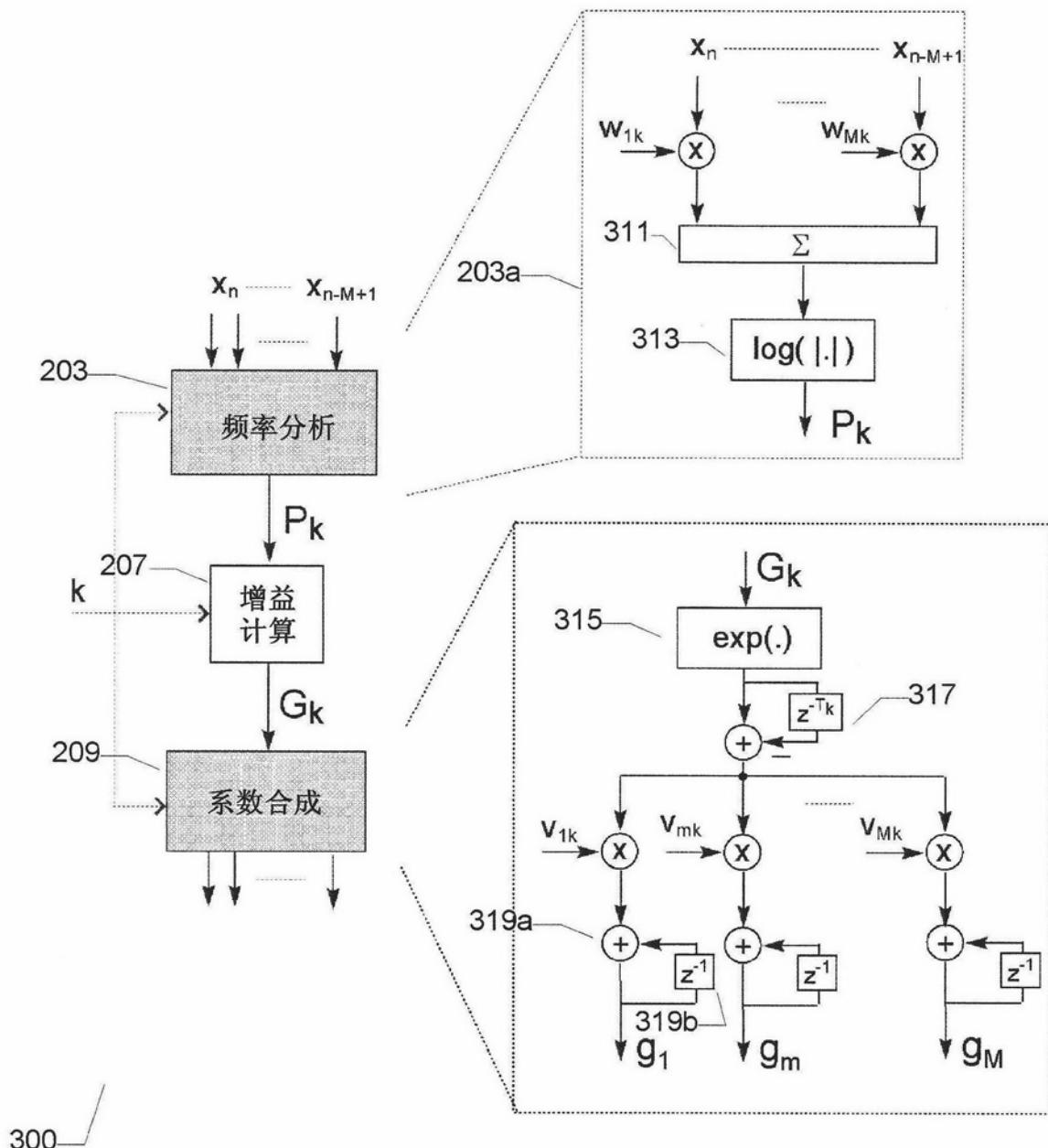


图3

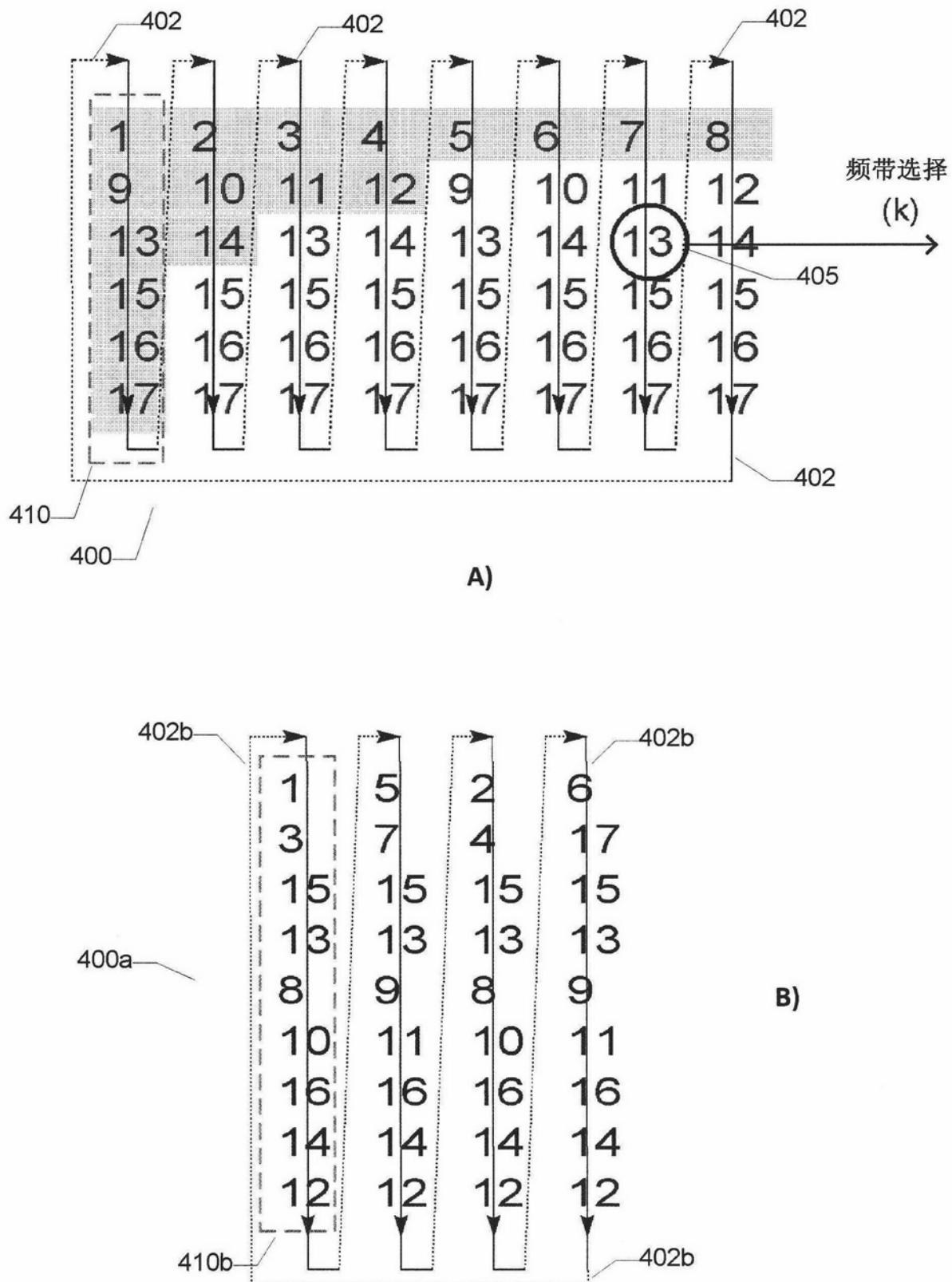


图4

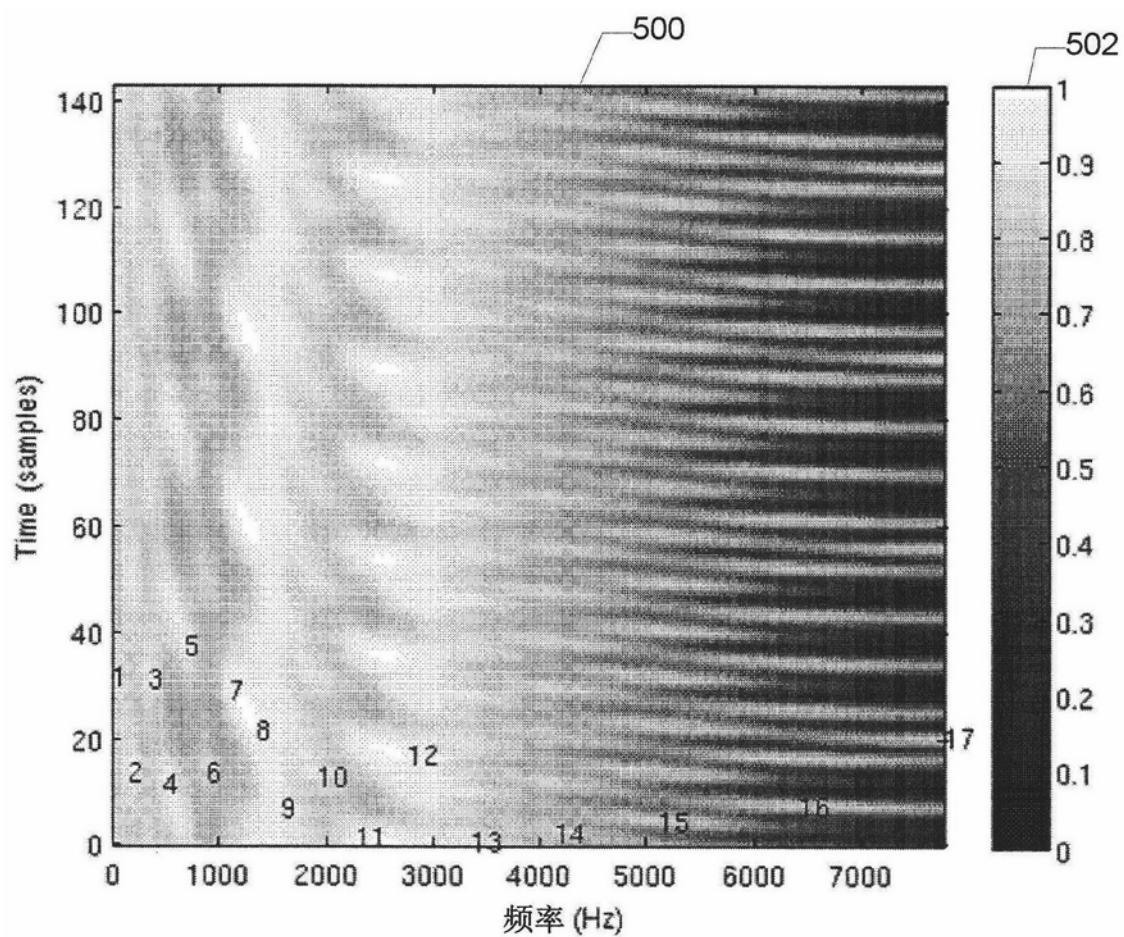


图5