

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G10L 19/00 (2006.01)

H03M 7/30 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01820576.3

[45] 授权公告日 2006 年 8 月 2 日

[11] 授权公告号 CN 1267890C

[22] 申请日 2001.11.13 [21] 申请号 01820576.3

[30] 优先权

[32] 2000.11.14 [33] SE [31] 0004163-2

[86] 国际申请 PCT/SE2001/002510 2001.11.13

[87] 国际公布 WO2002/041301 英 2002.5.23

[85] 进入国家阶段日期 2003.6.13

[71] 专利权人 编码技术股份公司

地址 瑞典斯德哥尔摩

[72] 发明人 克利斯托弗·克约尔灵

珀·埃克斯特兰德 弗莱德里克·汉

拉尔斯·维勒牟斯

审查员 刘亚斌

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利

商标事务所

代理人 马浩

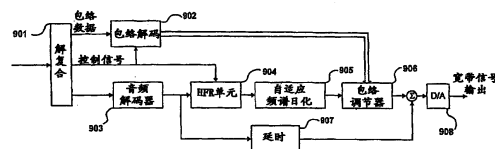
权利要求书 7 页 说明书 14 页 附图 10 页

[54] 发明名称

利用自适应滤波改善高频重建编码的设备和
方法

[57] 摘要

本发明提出了一种新的方法和一种新的装置，用于改善利用了高频重建的音源编码系统。它利用自适应滤波来减小人为噪声，这些人为噪声是由被使用了 HFR 的音频信号的不同频率范围中不同的音频特性引起的。本发明可以应用在语音编码及自然音频编码系统中。



1. 一种用来估算在高频重建步骤之前或高频重建步骤之后对信号所应用的频谱白化的强度的设备，高频重建步骤是在生成一个高频重建信号时所要进行的，重建信号的高频带是基于它的低频带的，其中所述的频谱白化是通过使用一个频谱白化滤波器进行滤波而得到的，该频谱白化滤波器是一个自适应滤波器，通过一个变化滤波器参数对其进行调整，所述设备包括：

反向滤波强度估算装置（803），用来估算一个待编码的原始音频信号在某个给定时刻的音频特性，其中所述的原始音频信号要由一个音频编码器进行编码以得到一个仅代表了原始音频信号的低频带的编码音频信号，估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性，该特性并未被包括在编码音频信号中，以及用来根据估算的音频特性确定频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数；

用来将变化滤波器参数关联到编码音频信号以获得包含含有变化滤波器参数的编码音频信号的比特流的装置（805）。

2. 根据权利要求1所述的设备，

其中所述的高频重建步骤是这样的，当产生高频带的时候它维持低频带的音频结构不变，

其中所述反向滤波强度估算装置（803）是这样设置的，除了估算高频带的音频特性之外，低频带的音频特性也会被估算，以及

其中所述的反向滤波强度估算装置（803）被设置来比较高频带与低频带的音频特性以确定所述的变化滤波器参数。

3. 根据权利要求1所述的设备，其中所述反向滤波强度估算装置（803）可被操作，

用来对原始音频信号的低频带执行高频重建步骤，以获取高频重建信号；

估算高频重建信号的音频特性，以及

比较高频重建信号与原始音频信号的高频带，以确定所述的变化

滤波器参数。

4. 根据权利要求 1 所述的设备, 其中所述的反向滤波强度估算装置 (803) 被配置为使得为不同的频率区域对原始信号音频特性进行估算。

5. 根据权利要求 1 所述的设备, 其中所述的反向滤波强度估算装置 (803) 被配置为使得为不同的频率区域对所需频谱白化量进行估算。

6. 根据权利要求 1 所述的设备, 其中所述的反向滤波强度估算装置 (803) 被配置为使得通过比较不同子带信号的音频 - 噪声比例来对所需要的频谱白化量进行估算, 子带信号是对原始信号进行子带滤波而获取的, 其中所述设备被配置为通过对所述子带信号进行线性预测而获得所述的比例。

7. 根据权利要求 1 所述的设备, 其中所述的反向滤波强度估算装置 (803) 被配置为使得通过比较不同子带信号的音频 - 噪声比例来对所需要的频谱白化量进行估算, 子带信号是对原始信号及一个高频重建信号进行子带滤波而获取的, 其中所述设备被配置为通过对所述子带信号进行线性预测而获得所述比例, 以及其中所述设备被配置为以与一个解码器中产生一个高频重建信号时执行的高频重建步骤中相同的方式, 产生所述高频重建信号。

8. 根据权利要求 1 所述的设备, 其中所述的频谱白化滤波器是一个具有由线性预测获取的变化滤波器系数的滤波器, 从而获取一个 LPC 多项式的, 并且其中所述的变化滤波器参数指示了 LPC 多项式的一个预测器阶数、LPC 多项式的一个带宽扩展系数或等于 $(1 - \sqrt{\frac{q_H}{q_L}})$, 其中 q_H 是高频带音频-噪声比, q_L 是低频带音频-噪声比。

9. 根据权利要求 1 的设备, 其中在一个高频重建步骤之前或一个高频重建步骤之后施加到一个信号上的所述频谱白化是在一个子带滤波器组中进行的,

其中所述反向滤波强度估算装置 (803) 被配置为进行一个 LPC

估算，以及

其中所述反向滤波强度估算装置（803）被配置为在 LPC 估算中执行一个预滤波，以补偿所述子带滤波器组中的滤波器组解析滤波器的特性。

10. 用来根据一个编码音频信号经过解码后的版本产生一个输出信号的设备，编码音频信号代表了一个原始音频信号的低频带，该编码音频信号与一个频谱白化滤波器的变化滤波器参数相关联，该变化滤波器参数取决于某一给定时刻原始音频信号高频带的音频特性，所述设备包括：

用来获取与编码音频信号相关联的变化滤波器参数的装置（901）；

一个高频重建单元（904），用来对编码音频信号的解码版本执行一个高频重建步骤，以产生一个高频重建信号；以及

一个自适应频谱白化滤波器（905），用来对高频重建之前的所述解码版本或是高频重建信号进行滤波；

其中所述的自适应频谱白化滤波器具有一个可变参数，该可变参数是根据与编码音频信号相关联的变化滤波器参数来设定的。

11. 根据权利要求 10 的设备，其中所述自适应频谱白化滤波器（905）被配置为在时域上对所述解码版本或所述高频重建信号执行频谱白化。

12. 根据权利要求 10 的设备，其中所述自适应频谱白化滤波器（905）被配置为在一个子带滤波器组中对所述解码版本或所述高频重建信号执行频谱白化。

13. 根据权利要求 10 所述的设备，其中所述的自适应频谱白化滤波器（905）包括：

用来为待滤波信号加窗的装置（606）；

用来获取已加窗信号的一个 LPC 多项式的 LPC 装置（607），该 LPC 装置响应于作为某一给定时刻的变化滤波器参数的一个 LPC 阶数和一个带宽扩展系数，以及

一个 FIR 滤波器，用来为待滤波信号进行滤波，该 FIR 滤波器由 LPC 装置所获取的 LPC 多项式进行设定。

14. 用来估算在高频重建步骤之前或高频重建步骤之后对信号所应用的频谱白化的强度的方法，高频重建步骤是在生成一个高频重建信号时所要进行的，该重建信号的高频带是基于它的低频带的，其中所述的频谱白化是通过一个频谱白化滤波器进行滤波而得到的，频谱白化滤波器是一个自适应滤波器，通过一个变化滤波器参数对其进行调整，所述方法包括下列步骤：

估算一个待编码的原始音频信号在某个给定时刻的音频特性，其中所述的原始音频信号要由一个音频编码器进行编码以得到一个仅代表了原始音频信号的低频带的编码音频信号，估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性，该特性并未被包括在编码音频信号中；

根据估算的音频特性确定频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数；

将变化滤波器参数关联到编码音频信号以获得包含含有变化滤波器参数的编码音频信号的比特流。

15. 用来根据一个编码音频信号经过解码后的版本产生一个输出信号的方法，编码音频信号代表了一个原始音频信号的低频带，该编码音频信号与一个频谱白化滤波器的变化滤波器参数相关联，该变化滤波器参数取决于某一给定时刻原始音频信号高频带的音频特性，该方法包括下列步骤：

获取与编码音频信号相关联的变化滤波器参数；

对编码音频信号的解码版本执行一个高频重建步骤，以产生一个高频重建信号；以及

利用一个自适应频谱白化滤波器（905）对高频重建之前的所述解码版本或是高频重建信号进行滤波；

其中所述的自适应频谱白化滤波器具有一个可变参数，该可变参数是根据与编码音频信号相关联的变化滤波器参数来设定的。

16. 用来编码原始音频信号以获取该信号一个编码版本的编码器，包括：

一种用来估算在高频重建步骤之前或高频重建步骤之后对信号所应用的频谱白化的强度的设备，高频重建步骤是在生成一个高频重建信号时所要进行的，重建信号的高频带是基于它的低频带的，其中所述的频谱白化是通过使用一个频谱白化滤波器进行滤波而得到的，该频谱白化滤波器是一个自适应滤波器，通过一个变化滤波器参数对其进行调整，所述用于估算频谱白化强度的设备包括：

反向滤波强度估算装置（803），用来估算一个待编码的原始音频信号在某个给定时刻的音频特性，其中所述的原始音频信号要由一个音频编码器进行编码以得到一个仅代表了原始音频信号的低频带的编码音频信号，估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性，该特性并未被包括在编码音频信号中，以及用来根据估算的音频特性确定频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数；

一个音频编码器（802），用来编码原始音频信号以获取所述编码音频信号；

用来估算原始音频信号的频谱包络以获取一个估算频谱包络的装置（804）；以及

一个多路复用器（805），用来多路复合所述编码音频信号、频谱白化滤波器的变化滤波器参数以及所述估算频谱包络，以得到一个比特流。

17. 用来解码一个比特流的解码器，该比特流中包括一个编码音频信号、一个估算频谱包络以及应用到频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数，所述变化滤波器参数取决于原始音频信号的估算出来的音频特性，所述估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性，该特性并未被包括在编码音频信号中，该解码器包括：

一个比特流解复器（901），用来提取所述编码音频信号、估算的频谱包络以及变化滤波器参数；

一个音频解码器（903），用来解码所述编码音频信号，以获取

一个低频带信号;

一个包络解码器, 用来解码估算的频谱包络;

一个产生一个输出信号的设备, 该用于产生输出信号的设备包括

一个高频重建单元(904), 用来对所述低频带信号执行一个高频重建步骤, 以产生一个高频重建信号; 以及

一个自适应频谱白化滤波器(905), 用来对高频重建之前的所述低频带信号或是高频重建信号进行滤波;

其中所述的自适应频谱白化滤波器具有一个可变参数, 该可变参数是根据与编码音频信号相关联的变化滤波器参数来设定的, 以及

其中所述高频重建单元(904)和自适应频谱白化滤波器(905)被操作为形成一个自适应频谱白化的高频重建信号; 以及

一个加法器, 用来把所述经过自适应频谱白化的高频重建信号与一个解码音频信号的延时版本相加, 以获取一个宽带输出信号。

18. 用来编码一个原始音频信号以获取该信号的编码版本的方法, 包括下列步骤:

估算在高频重建步骤之前或高频重建步骤之后对信号所应用的频谱白化的强度, 高频重建步骤是在生成一个高频重建信号时所要进行的, 重建信号的高频带是基于它的低频带的, 其中所述的频谱白化是通过使用一个频谱白化滤波器进行滤波而得到的, 该频谱白化滤波器是一个自适应滤波器, 通过一个变化滤波器参数对其进行调整, 所述估算频谱白化强度的步骤包括步骤:

估算一个待编码的原始音频信号在某个给定时刻的音频特性, 其中所述的原始音频信号要由一个音频编码器进行编码以得到一个仅代表了原始音频信号的低频带的编码音频信号, 估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性, 该特性并未被包括在编码音频信号中;

根据估算的音频特性确定频谱白化滤波器的所述变化滤波器

参数;

编码(802)原始音频信号以获取所述编码音频信号;

估算(804)原始音频信号的频谱包络以获取一个估算频谱包络; 以及

多路复合(805)所述编码音频信号、频谱白化滤波器的变化滤波器参数以及估算的频谱包络, 以获取一个比特流。

19. 用来解码一个比特流的方法, 该比特流中包括了一个编码音频信号、一个估算的频谱包络以及要应用到频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数, 所述变化滤波器参数取决于原始音频信号的估算出来的音频特性, 所述估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性, 该特性并未被包括在编码音频信号中, 该方法包括:

提取(901)所述编码音频信号、估算的频谱包络以及变化滤波器参数;

解码(903)所述编码音频信号, 以获取一个低频带信号;

解码估算的频谱包络;

产生一个输出信号, 该产生输出信号的步骤包括:

对所述低频带信号执行一个高频重建步骤, 以产生一个高频重建信号; 以及

利用一个自适应频谱白化滤波器(905)对高频重建之前的所述低频带信号或是高频重建信号进行滤波;

其中所述的自适应频谱白化滤波器具有一个可变参数, 该可变参数是根据与编码音频信号相关联的变化滤波器参数来设定的; 以及

其中执行所述高频重建步骤和使用自适应频谱白化滤波器(905)的滤波得到了一个自适应频谱白化的高频重建信号; 以及

把所述经过自适应频谱白化的高频重建信号与所述低频带信号的延时版本相加, 以获取一个宽带输出信号。

利用自适应滤波改善 高频重建编码的设备和方法

技术领域

本发明涉及一种音源编码系统，该系统利用了高频重建（HFR）如谱带复制，SBR[WO 98/57436]或相关方法。它改善了高质量方法（SBR）以及低质量方法[U.S. Pat. 5127054]的性能。它可以应用在语音编码和自然音频编码系统中。

发明背景

音频信号的高频重建是指由（信号的）低频带估算出高频带，在高频重建中，重要的是要有能够控制重建高频带中的音频成分的装置，它应该比 HFR 系统中常用的粗略包络调节在更大程度上实现对音频成分的控制。这一点是很有必要的，因为对于大多数音频信号如语音信号以及大多数声学设备来说，在低频区域（也就是低于 4-5kHz）音频成分比在高频区域中要强。一个极端的例子是在低频带中为发音很明显的一系列谐音，在高频带中就差不多成了纯粹的噪声。实现这一点的一种途径是自适应地向重建高频带中加入噪声（自适应噪声添加[PCT/SE00/00159]）。然而，有时这样做不足以抑制低频带的音频特性，使得重建的高频带具有重复的“嗡嗡”声。另外，也很难正确地实现噪声的时间特性。当两个谐音序列，一个具有高调谐密度（低音调）而另一个具有低调谐密度（高音调），被混合在一起时，会出现另一个问题。如果高音调谐音序列在低频带中相对于另一个谐音序列占优势，但在高频带中却非如此，那么 HFR 会使得高音调信号的谐音占据高频带，造成重建的高频相对于原始信号听起来更像“重金属”。上述的情况都不能利用 HFR 系统中所常用的包络调节的方法加以控制。在一些实施例中，在对 HFR 信号进行谱

包络调节期间，引入一个固定度数的频谱白化。对某一特定度数的频谱白化，这样做能产生满意的结果，但却向不能受益于该特定度数的频谱白化的信号片断中引入了严重的人为噪声。

发明内容

本发明涉及高频重建 (High Frequency Reconstruction) 方法中常常会引入的“嗡嗡作响”及“重金属”声音的问题。它在编码器端使用一种复杂的检验算法来估算应该应用于解码器中的频谱白化的优选量。频谱白化随着时间和频率而改变，保证以最佳方法来控制复制的高频带中的谐音内容。本发明可以在一个时域实施方式中实现，也可以在子带滤波器组实施方式中实现。

本发明提供了一种用来估算在高频重建步骤之前或高频重建步骤之后对信号所应用的频谱白化的强度的设备，高频重建步骤是在生成一个高频重建信号时所要进行的，重建信号的高频带是基于它的低频带的，其中所述的频谱白化是通过使用一个频谱白化滤波器进行滤波而得到的，该频谱白化滤波器是一个自适应滤波器，通过一个变化滤波器参数对其进行调整，所述设备包括：反向滤波强度估算装置，用来估算一个待编码的原始音频信号在某个给定时刻的音频特性，其中所述的原始音频信号要由一个音频编码器进行编码以得到一个仅代表了原始音频信号的低频带的编码音频信号，估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性，该特性并未被包括在编码音频信号中，以及用来根据估算的音频特性确定频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数；用来将变化滤波器参数关联到编码音频信号以获得包含含有变化滤波器参数的编码音频信号的比特流的装置。

本发明提供了用来根据一个编码音频信号经过解码后的版本产生一个输出信号的设备，编码音频信号代表了一个原始音频信号的低频带，该编码音频信号与一个频谱白化滤波器的变化滤波器参数相关联，该变化滤波器参数取决于某一给定时刻原始音频信号高频带的音频特性，所述设备包括：用来获取与编码音频信号相关联的变化滤波器参数的装置；一个高频重建单元，用来对编码音频信号的解码版本执行一个高频重建步骤，以产生一个高频重建信号；以及一个自适应频谱白化滤波器，用来对高频重建之前的所述解码版本或是高频重建信号进行滤波；其中所述的自适应频谱白化滤波器具有一个可变参数，该可变参数是根据与编码音频信号相关联的变化滤波器参数来设定的。

本发明提供了用来估算在高频重建步骤之前或高频重建步骤之

后对信号所应用的频谱白化的强度的方法，高频重建步骤是在生成一个高频重建信号时所要进行的，该重建信号的高频带是基于它的低频带的，其中所述的频谱白化是通过一个频谱白化滤波器进行滤波而得到的，频谱白化滤波器是一个自适应滤波器，通过一个变化滤波器参数对其进行调整，所述方法包括下列步骤：估算一个待编码的原始音频信号在某个给定时刻的音频特性，其中所述的原始音频信号要由一个音频编码器进行编码以得到一个仅代表了原始音频信号的低频带的编码音频信号，估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性，该特性并未被包括在编码音频信号中；根据估算的音频特性确定频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数；将变化滤波器参数关联到编码音频信号以获得包含含有变化滤波器参数的编码音频信号的比特流。

本发明提供了用来根据一个编码音频信号经过解码后的版本产生一个输出信号的方法，编码音频信号代表了一个原始音频信号的低频带，该编码音频信号与一个频谱白化滤波器的变化滤波器参数相关联，该变化滤波器参数取决于某一给定时刻原始音频信号高频带的音频特性，该方法包括下列步骤：获取与编码音频信号相关联的变化滤波器参数；对编码音频信号的解码版本执行一个高频重建步骤，以产生一个高频重建信号；以及利用一个自适应频谱白化滤波器对所述高频重建之前的解码版本或是高频重建信号进行滤波；其中所述的自适应频谱白化滤波器具有一个可变参数，该可变参数是根据与编码音频信号相关联的变化滤波器参数来设定的。

本发明提供了用来编码原始音频信号以获取该信号一个编码版本的编码器，包括：一种用来估算在高频重建步骤之前或高频重建步骤之后对信号所应用的频谱白化的强度的设备，高频重建步骤是在生成一个高频重建信号时所要进行的，重建信号的高频带是基于它的低频带的，其中所述的频谱白化是通过使用一个频谱白化滤波器进行滤波而得到的，该频谱白化滤波器是一个自适应滤波器，通过一个变化滤波器参数对其进行调整，所述用于估算频谱白化强度的设备包括：反向滤波强度估算装置，用来估算一个待编码的原始音频信号在某个给定时刻的音频特性的装置，其中所述的原始音频信号要由一个音频编码器进行编码以得到一个仅代表了原始音频信号的低频带的编码音频信号，估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性，该特性并未被包括在编码音频信号中，以及用来根据估算的音频特性确定频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数；一个音频编码器，

用来编码原始音频信号以获取所述编码音频信号；用来估算原始音频信号的频谱包络以获取一个估算频谱包络装置；以及一个多路复用器，用来多路复合所述编码音频信号、频谱白化滤波器的变化滤波器参数以及所述估算频谱包络，以得到一个比特流。

本发明提供了用来解码一个比特流的解码器，该比特流中包括一个编码音频信号、一个估算频谱包络以及应用到频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数，所述变化滤波器参数取决于原始音频信号的估算出来的音频特性，所述估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性，该特性并未被包括在编码音频信号中，该解码器包括：一个比特流解复器，用来提取所述编码音频信号、估算的频谱包络以及变化滤波器参数；一个音频解码器，用来解码所述编码音频信号，以获取一个低频带信号；一个包络解码器，用来解码估算的频谱包络；一个产生一个输出信号的设备，该设备包括一个高频重建单元，用来对所述低频带信号执行一个高频重建步骤，以产生一个高频重建信号；以及一个自适应频谱白化滤波器，用来对高频重建之前的所述低频带信号或是高频重建信号进行滤波；其中所述的自适应频谱白化滤波器具有一个可变参数，该可变参数是根据与编码音频信号相关联的变化滤波器参数来设定的，以及其中所述高频重建单元和自适应频谱白化滤波器被操作为形成一个自适应频谱白化的高频重建信号；以及一个加法器，用来把所述经过自适应频谱白化的高频重建信号与一个解码音频信号的延时版本相加，以获取一个宽带输出信号。

本发明提供了用来编码一个原始音频信号以获取该信号的编码版本的方法，包括下列步骤：估算在高频重建步骤之前或高频重建步骤之后对信号所应用的频谱白化的强度，高频重建步骤是在生成一个高频重建信号时所要进行的，重建信号的高频带是基于它的低频带的，其中所述的频谱白化是通过使用一个频谱白化滤波器进行滤波而得到的，该频谱白化滤波器是一个自适应滤波器，通过一个变化滤波器参数对其进行调整，所述估算包括步骤：估算一个待编码的原始音频信号在某个给定时刻的音频特性，其中所述的原始音频信号要由一个音频编码器进行编码以得到一个仅代表了原始音频信号的低频带的编码音频信号，估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性，该特性并未被包括在编码音频信号中；根据估算的音频特性确定频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数；编码原始音频信号以获取所述编码音频信号；估算原始音频信号的频谱包络以获取一个估算频谱包络；以及多路复合所述编码音频信号、频谱白化滤波器的

变化滤波器参数以及估算的频谱包络，以获取一个比特流。

本发明提供了用来解码一个比特流的方法，该比特流中包括了一个编码音频信号、一个估算的频谱包络以及要应用到频谱白化滤波器的一个变化滤波器参数，所述变化滤波器参数取决于原始音频信号的估算出来的音频特性，所述估算出来的音频特性中包括原始音频信号高频带的估算音频特性，该特性并未被包括在编码音频信号中，该方法包括：提取所述编码音频信号、估算的频谱包络以及变化滤波器参数；解码所述编码音频信号，以获取一个低频带信号；解码估算的频谱包络；产生一个输出信号，包括：对所述低频带信号执行一个高频重建步骤，以产生一个高频重建信号；以及利用一个自适应频谱白化滤波器对高频重建之前的所述低频带信号或是高频重建信号进行滤波；其中所述的自适应频谱白化滤波器具有一个可变参数，该可变参数是根据与编码音频信号相关联的变化滤波器参数来设定的；以及其中执行所述高频重建步骤和使用自适应频谱白化滤波器的滤波得到了一个自适应频谱白化的高频重建信号；以及把所述经过自适应频谱白化的高频重建信号与所述低频带信号的延时版本相加，以获取一个宽带输出信号。

本发明具有以下特性：

- 在编码器中，估算原始信号在给定时刻对于不同频率区域的音频特性。

- 在编码器中，在给定了解码器中所使用的 HFR 方法的情况下，估算在给定时刻不同频率区域所需的频谱白化量，以便在解码器的 HFR 之后获取相似的音频特性。

- 把关于频谱白化优选度数的信息从编码器发送给解码器。

- 在解码器中，根据编码器发送来的信息，在时域或是子带滤波器组中执行频谱白化。

- 解码器中用于频谱白化的自适应滤波器是利用线性预测获得的。

- 所需要的频谱白化度数是在编码器中通过预测来估定的。

- 对频谱白化度数的控制是通过改变预测器阶数、或是改变 LPC 多项式的带宽扩展系数、或是将经过滤波的信号与未经处理的配对信号以给定的程度混合起来而实现的。

- 使用子带滤波器组来实现低阶预测器的能力提供了非常高效的实施方式，特别是在已经使用滤波器组进行包络调节的系统中。

● 有了本发明中新颖的滤波器组实施方式，就很容易获取具有频率选择性的频谱白化度数。

附图说明

下面将参照附图，以图示例子的方式描述本发明，但并不限制本发明的范围或指导思想，其中：

图 1 示出了一个 LPC 频谱的带宽扩展；

图 2 示出了一个原始信号在时刻 t_0 和时刻 t_1 的绝对频谱；

图 3 示出了一种未使用自适应滤波的已有技术复制型 HFR 系统的输出在时刻 t_0 和时刻 t_1 的绝对频谱；

图 4 示出了根据本发明使用了自适应滤波的复制型 HFR 系统的输出在时刻 t_0 和时刻 t_1 的绝对频谱；

图 5a 示出了相应于本发明的最差情况的信号；

图 5b 示出了最差情况信号的高频带与低频带的自相关；

图 5c 示出了依照本发明对于不同频率的音频 - 噪声比例 q ；

图 6 示出了依照本发明的解码器中自适应滤波的时域实施方式；

图 7 示出了依照本发明的解码器中自适应滤波的子带滤波器组实施方式；

图 8 示出了本发明的一个编码器实施方式；

图 9 示出了本发明的一个解码器实施方式。

具体实施方式

下述实施例只是举例说明了本发明用于改进高频重建系统的原理。可以理解，对于那些精通本技术的人而言，很明显可以对这里所述的结构配置与细节进行改进与变化。因此，我们意图仅受限于后面的专利权利要求范围，而不受限于这里通过描述与说明所提供的具体细节。

当调节一个信号的频谱包络使之成为某个指定的频谱包络时，通常会应用一定量的频谱白化。如果用 $H_{envRef}(z)$ 来表示发射的未经处理的频谱包络，而用 $H_{envCur}(z)$ 来表示当前信号片断的频谱包络，那么应用的滤波器函数应该是：

$$W(z) = \frac{H_{envRef}(z)}{H_{envCur}(z)} \quad (1)$$

在本发明中，对于 $H_{envRef}(z)$ 的频率分辨率不必与 $H_{envCur}(z)$ 相同。本发明将 $H_{envCur}(z)$ 的自适应频率分辨率用于 HFR 信号的包络调节中。用 $H_{envCur}(z)$ 的反向滤波器对信号片断进行滤波，以便根据方程 1 对信号进行频谱白化。如果 $H_{envCur}(z)$ 是利用线性预测获得的，那么可以用下式说明：

$$H_{envCur}(z) = \frac{G}{A(z)} \quad (2)$$

其中

$$A(z) = 1 - \sum_{k=1}^P \alpha_k z^{-k} \quad (3)$$

是利用自相关方法或协方差方法 [Digital Processing of Speech Signal, Rabiner & Schafer, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, ISBN 0-13-213603-1, Chapter 8] 获得的多项式，G 是增益。给出该式以后，就可以通过改变预测器阶数来控制频谱白化的度数，也就是限制多项式 $A(z)$ 的阶数，从而限制了 $H_{envCur}(z)$ 所能描述的细微结构的数量；或是通过向多项式 $A(z)$ 应用一个带宽扩展系数来实施控制。带宽扩展是如下定义的：如果带宽扩展系数是 ρ ，那么可以求得多项式 $A(z)$ 为

$$A(\rho z) = a_0 z^0 \rho^0 + a_1 z^1 \rho^1 + a_2 z^2 \rho^2 + \dots + a_p z^p \rho^p \quad (4)$$

这样就如图 1 中所示地扩展了 $H_{envCur}(z)$ 估算出来的共振峰的带宽。因此，依照本发明的反向滤波器可以用下式进行描述：

$$H_{inv}(z, p, \rho) = \frac{1 - \sum_{k=1}^P \alpha_k (z\rho)^{-k}}{G} \quad (5)$$

其中 P 是预测器阶数，而 ρ 是带宽扩展系数。

如上所述，系数 α_k 可以多种不同方式获取，比如自相关方法或是协方差方法。如果在常规包络调节之前使用 H_{inv} ，那么增益系数 G 可以被设置为 1。一般的做法是向估算中加入某种松弛条件，以保证系统的稳定性。在使用自相关方法时，可以通过偏置相关向量的零相位延迟值轻松地实现这一点。这相当于向被用来估算 $A(z)$ 的信号中加入固定水平的白噪声。参数 P 和 ρ 都是根据编码器传送来的信息计算出来的。

另一种带宽扩展的方法可以是：

$$A_b(z) = 1 - b + b \cdot A(z) \quad (6)$$

其中 b 是混合系数。这样就产生了以下自适应滤波器：

$$H_{inv}(z, p, b) = \frac{1 - b + b \cdot (1 - \sum_{k=1}^P \alpha_k(z)^{-k})}{G} \quad (7)$$

很明显，当 $b=1$ 时，方程 7 等价于 $\rho=1$ 时的方程 5，而当 $b=0$ 时，方程 7 等价于一个恒定的非频率选择性的增益系数。

本发明以非常低的额外比特率为代价，极大地提高了 HFR 系统的性能，这是由于在解码器中要用到的白化度数的信息可以非常高效地被传送。图 2-4 利用绝对频谱的图示，展示出使用了本发明的系统与未使用本发明的系统之间性能的对比。在图 2 中，示出了原始信号在时刻 t_0 和时刻 t_1 的绝对频谱。很明显，在时刻 t_0 信号的低频带与高频带中的音频特性相似，而在时刻 t_1 就相差甚远。在图 3 中，示出了使用基于复制的而且不带有本发明的 HFR 的系统在时刻 t_0 和时刻 t_1 的输出。这里没有使用频谱白化，它在时刻 t_0 给出了正确的音频特性，而在时刻 t_1 则完全错误。这样会引起令人讨厌的人为噪声。任何固定度数的频谱白化也会得到类似的结果，但产生的人为噪声将具有不同的特性，而且会出现在不同的阶段。在图 4 中示出了使用本发明的一个系统在时刻 t_0 和时刻 t_1 的输出。很明显，这里的频谱白化量

会随时间而改变，从而带来了远好于未使用本发明的系统的音质。

编码器端的检测器

在本发明中，用编码器端的一个检测器来确定解码器中所应使用的最佳频谱白化度数（LPC 阶数、带宽扩展系数以及/或混合系数），以便在给定了当前使用的 HFR 方法的情况下，获得与原始信号尽可能相似的高频带。可以使用多种方法来获取对于解码器中应该应用的频谱白化度数的正确估计。在下面的说明中，假定 HFR 算法在生成高频期间不会显著改变低频带频谱的音频结构，也就是说，所生成的高频带具有与低频带相同的音频特性。如果这种假定不能成立，那么可以利用综合分析来执行以下检测，也就是说，在编码器中对原始信号执行 HFR，并对两个信号的高频带进行比较研究，而不是对原始信号的低频带和低频带进行比较研究。

一种方法是利用自相关来估算适当的频谱白化量。检测器为源范围（也就是解码器中 HFR 基于的频率范围）以及目标范围（也就是在解码器中要重建的频率范围）估算出自相关函数。在图 5a 中示出了一个最差情况信号，在它的低频带中是谐波序列而在高频带中则是白噪声。图 5b 中示出了不同的自相关函数。很明显，这里的低频带高度相关，而高频带则非如此。对于任何大于某个最小延时的延时，分别获取高频带以及低频带的最大相关值。这两个数值的商被用来计算解码器中应该使用的最佳频谱白化度数。当实施上面所描述的本发明时，最好用 FFT 来进行相关计算。序列 $x(n)$ 的自相关被定义为：

$$r_{xx}(m) = FFT^{-1}(|X(k)|^2) \quad (8)$$

其中

$$X(k) = FFT(x(n)) \quad (9)$$

由于目标在于比较高频带与低频带中自相关的差别，因此可以在频域进行滤波。这样就产生了：

$$\begin{cases} X_{Lp}(k) = X(k) \cdot H_{Lp}(k), \\ X_{Hp}(k) = X(k) \cdot H_{Hp}(k) \end{cases} \quad (10)$$

其中 $H_{Lp}(k)$ 和 $H_{Hp}(k)$ 是 LP 和 HP 滤波器冲击响应的傅立叶变换。

由上式可如下计算出低频带与高频带的自相关函数：

$$\begin{cases} r_{xxLp}(m) = FFT^{-1}(|X_{Lp}(k)|^2), \\ r_{xxHp}(m) = FFT^{-1}(|X_{Hp}(k)|^2) \end{cases} \quad (11)$$

对大于最小延时的延时，各个自相关向量的最大值如下计算：

$$\begin{cases} r_{MaxLp}(m) = \max(r_{xxLp}) \quad \forall m > \min Lag \\ r_{MaxHp}(m) = \max(r_{xxHp}) \quad \forall m > \min Lag \end{cases} \quad (12)$$

这两者的比例可直接被用作合适的带宽扩展系数。

以上说明了估算一个可预测性的通用量度——也就是指定时刻在给定频段中的音频 - 噪声比例——是有好处的，以便获取一个在指定时刻用于给定频段的正确的反向滤波电平。这也可以利用下述更精确的方法实现。这里假定使用了子带滤波器组，但是可以理解本发明并不局限于此。

一个滤波器组的各个子频带的音频 - 噪声比例 q 可以通过对子带样本段进行线性预测来定义。大的 q 值表示有大量的音频，而小的 q 值则表示在相应的时间和频率上信号类似于噪声。 q 值可以利用协方差方法以及自相关方法获取。

对于协方差方法而言，对于子带信号段 $[x(0), x(1), \dots, x(N-1)]$ 的线性预测系数和预测误差可以通过 Cholesky 分解 [Digital Processing of Speech Signal, Rabiner & Schafer, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, ISBN 0-13-213603-1, Chapter 8] 有效地计算出来。音频 - 噪声比例 q 被定义为：

$$q = \frac{\psi - E}{E} \quad (13)$$

其中 $\psi = |x(0)|^2 + |x(1)|^2 + \dots + |x(N-1)|^2$ 是信号段的能量，E 是预测误差段的能量。

对于自相关方法而言，更自然的方法是使用 Levinson-Durbin 算法 [Digital Signal Processing, Principles, Algorithms and Applications, Third Edition, John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis, Prentice Hall, International Editions, ISBN-0-13-394338-9, Chapter 11], 其中 q 被定义为:

$$q = \left(\prod_{i=1}^P (1 - |K_i|^2) \right)^{-1} - 1 \quad (14)$$

其中 K_i 是从预测多项式中获取的相应网格滤波器结构的反射系数，P 是预测器阶数。

高频带与低频带值之间的比例 q 被用来调节频谱白化度数，使得重建高频带的音频 - 噪声比例接近原始高频带。这里利用混合系数 b 来控制白化度数是很方便的（方程 6）。

假定在高频带测得音频 - 噪声比例 $q = q_H$ ，而在低频带测得 $q = q_L \geq q_H$ ，那么合适的白化系数 b 应该由下式给出:

$$b = 1 - \sqrt{\frac{q_H}{q_L}} \quad (15)$$

要理解该式，第一步先要把方程 6 写成下列形式

$$A_b(z) = A(z) + (1-b)(1-A(z)) \quad (16)$$

这表示如果被用来估算 $A(z)$ 的信号经过滤波器 $A_b(z)$ 的滤波，那么预测信号就会受到增益系数 $1-b$ 的抑制，而预测误差则不会被改变。由于音频 - 噪声比例是预测信号均方值与预测误差均方值的比值，滤波之前的 q 值会在滤波处理之后变为 $(1-b)^2 q$ 。对低频带信号使用该滤波处理会产生音频 - 噪声比例为 $(1-b)^2 q_L$ 的信号，而且在所应用的 HFR 方法不会改变音频的假定下，如果根据方程 15 选择 b，就能达到高频带中的目标值 q_H 。

在图 5c 中示出了对应于图 5a 中所示信号的一个 64 通道滤波器组中各个子频带基于预测阶数 $p=2$ 的 q 值。在谐波部分达到的值显著高于噪声部分所达到的值。谐波部分中估算的可变性归因于所选择的频率分辨率和预测阶数。

时域中基于 LPC 的自适应白化

解码器中的自适应滤波可以在高频重建之前或之后进行。如果在 HFR 之前进行滤波，那么就要考虑所用的 HFR 方法的特性。当进行频率选择性的自适应滤波时，系统必须推算出从什么样的低频带区域可以建立起某个特定的高频带区域，以便在 HFR 单元之前对那个低频带区域施加正确的频谱白化量。在下面所述的本发明的时域实施方式例子中，简要说明了一种非频率选择性的频谱白化。对于精通本技术的人来说很明显的是，本发明的时域实施方式并不局限于下述的实施例。

在时域进行自适应滤波时，优先选择使用自相关方法的线性预测。自相关方法需要对用来估算系数 α_k 的输入段进行加窗，而协方差方法不需要。根据本发明，用于频谱白化的滤波器是

$$H_{inv}(z, p, \rho) = 1 - \sum_{k=1}^p \alpha_k (z\rho)^{-k} \quad (19)$$

其中增益系数 G (方程 5 中) 被设置为 1。如果在 HFR 单元之前进行自适应频谱白化，那么自适应滤波器就能工作在较低的采样率上，从而实现一种高效的实施方式。根据图 6，低频带信号在适当的时间基础上被加窗和滤波，预测器阶数与带宽扩展系数都由编码器提供。在本发明的本实施例中，信号被低通滤波 601 及抽取 602。603 示出了自适应滤波器。窗 606 被用来为估算多项式 $A(z)$ 选取合适的时间段，其中使用了 50% 的叠加。LPC 程序 607 结合给定的当前优选 LPC 阶数以及带宽扩展系数、并加入适当的松弛 (条件) 来提取 $A(z)$ 。FIR 滤波器 608 被用来对信号段进行自适应性的滤波。对经过

频谱白化的信号段进行升采样率处理 604、605 并加窗，一同形成 HFR 单元的输入信号。

子带滤波器组中基于 LPC 的自适应白化

利用滤波器组可以高效可靠地实现自适应滤波。对于滤波器组产生的各个子带信号分别独立地进行线性预测和滤波。子带信号的混叠部分受到抑制，所以用滤波器组是很有利的。这可以通过例如对滤波器组进行过采样来实现。混叠所引起的人为噪声是从对子带信号进行的独立改变中出现的，比如是由自适应滤波导致的，这些噪声可以被极大地消除。对于子带信号的白化是通过与上述时域方法类似的线性预测获得的。如果子带信号是复数值的，那么就要在线性预测和滤波中使用复系数。因为对于具有合理的滤波器组通道数量的系统来说，预计各个频带内的音频成分数量都非常小，所以线性预测的阶数可以保持得非常低。为了与时域 LPC 对应于相同的时基，各个片断内的子带样本数量要小一个与滤波器组的降采样率系数相等的因子。给定了低滤波器阶数和小片断长度时，最好利用协方差方法来取得预测滤波器系数。滤波器系数计算和频谱白化可以用子带采样时间步长 L 在一个片断一个片断的基础上实现，该步长 L 小于片断长度 N 。经过频谱白化的片断应该用合适的综合窗叠加到一起。

把白高斯噪声构成的输入信号送入一个最大抽取滤波器组，就能产生具有白化频谱密度的子带信号。将白噪声送入过采样的滤波器组，就能产生有色频谱密度的子带信号。这是由解析滤波器的频率响应造成的效果。当输入了类似于噪声的信号时，滤波器组通道中的 LPC 预测器能够追踪滤波器的特性。这是一种不需要的特性，并能从补偿中受益。一种可能的解决方案是对线性预测器的输入信号进行预滤波。线性滤波应该是解析滤波器的反向或是近似反向滤波，以便补偿解析滤波器的频率响应。如上所述，原始子带信号被送入白化滤波器。图 7 示出了子带信号的白化过程。对应于通道 1 的子带信号被

送入预滤波模块 701, 然后被送入一个延时链, 延时链的深度取决于滤波器阶数 702。延时后的信号以及它们的共轭 703 被送入线性预测模块 704, 在该模块中计算出系数。每第 L 个计算结果的系数被抽取器 705 保留下来。子带信号最终通过滤波器模块 706 滤波, 其中对每第 L 个样本使用并更新预测系数。

实用实施方式

本发明可以使用特定的编译码器在硬件芯片及 DSP 中实现, 用于各种不同的系统, 以及用于模拟或数字信号的储存与传输。图 8 和图 9 示出了本发明一种可行的实施方式。在图 8 中示出了编码器一端。模拟输入信号先被送入 A/D 转换器 801, 再被送入特定的音频编码器 802, 以及反向滤波电平估算单元 803 和包络提取单元 804。编码后的信息被复合成一路串行比特流 805, 并被传输与储存。在图 9 中示出了一种典型的解码器实施例。串行比特流被解除复合 901, 包络数据——也就是高频带的频谱包络——也被解码 902。利用特定的音频解码器对解复后的源编码信号进行解码 903。解码后的信号被送入频谱白化单元 905, 该单元执行自适应频谱白化。随后, 信号被送入包络调节器 906。包络调节器的输出与经过一个延时的解码信号合并在一起 907。最后, 数字输出被转换回模拟波形 908。

图1

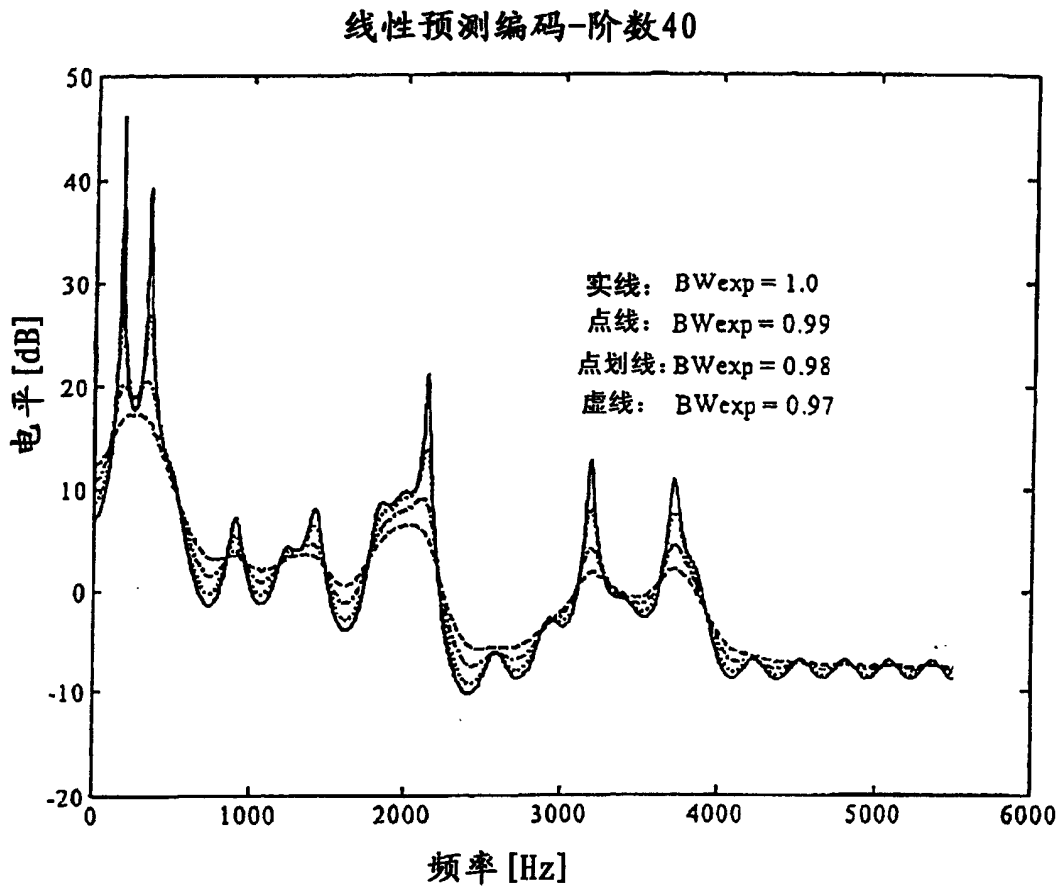


图2

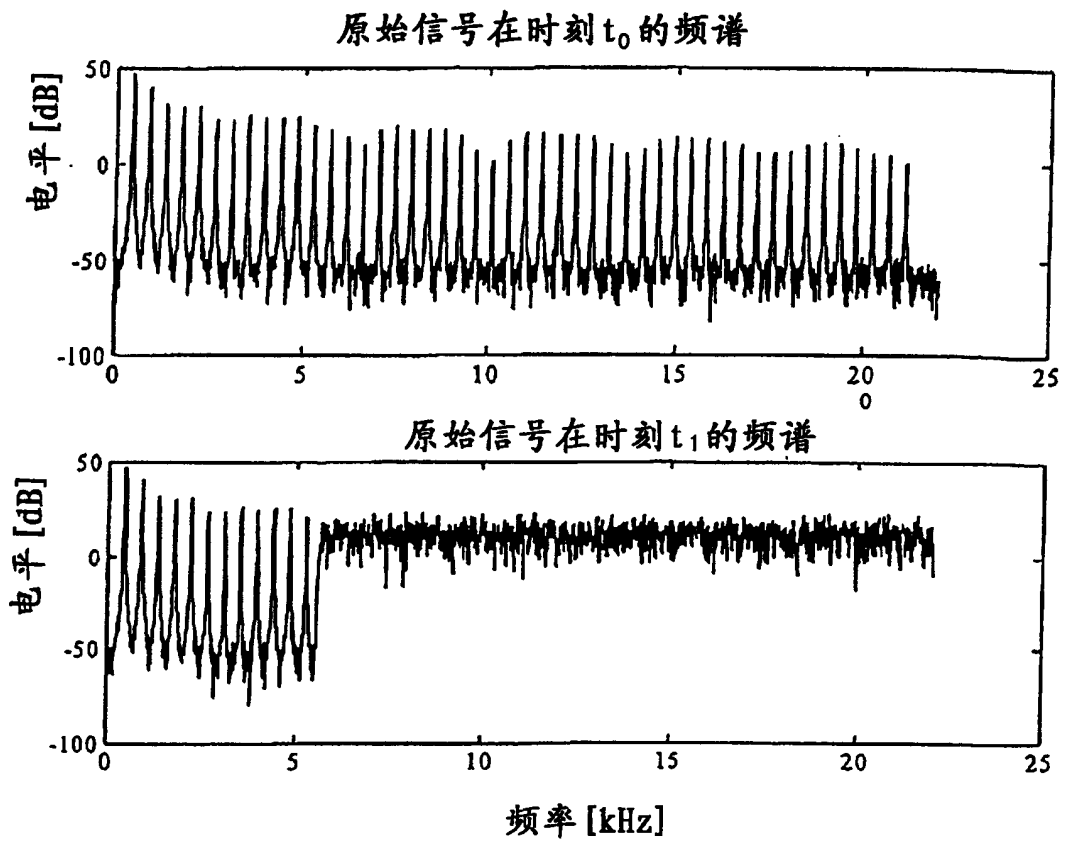


图3

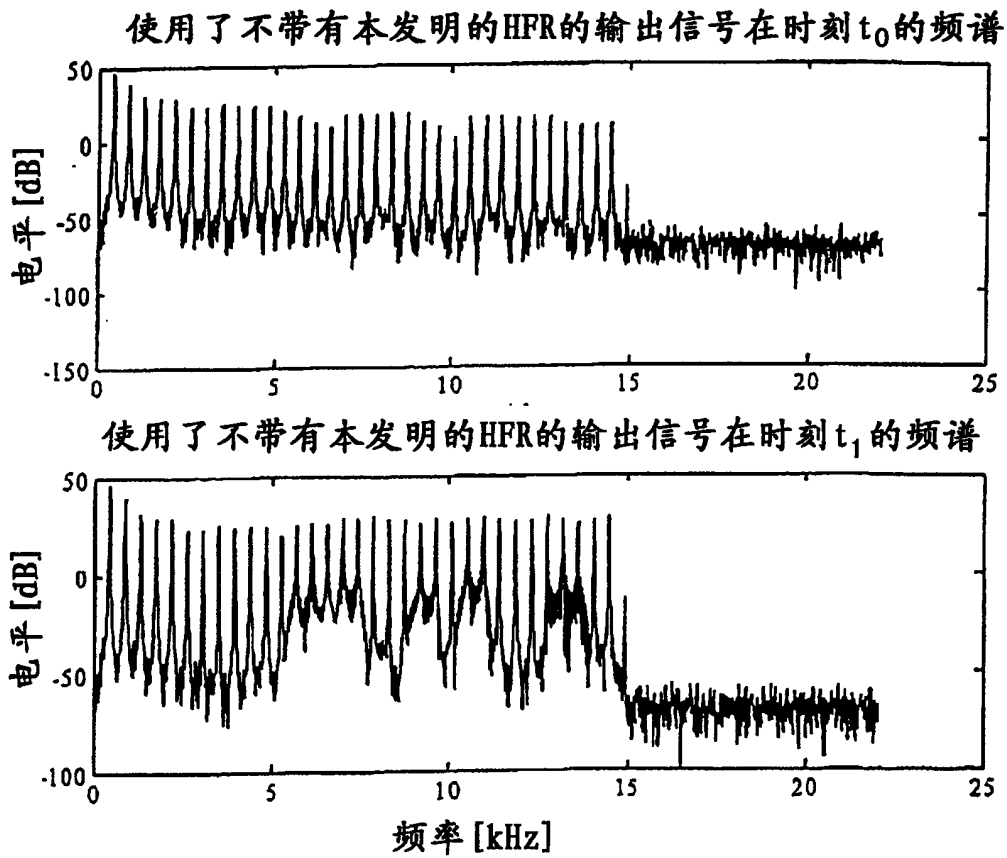


图4

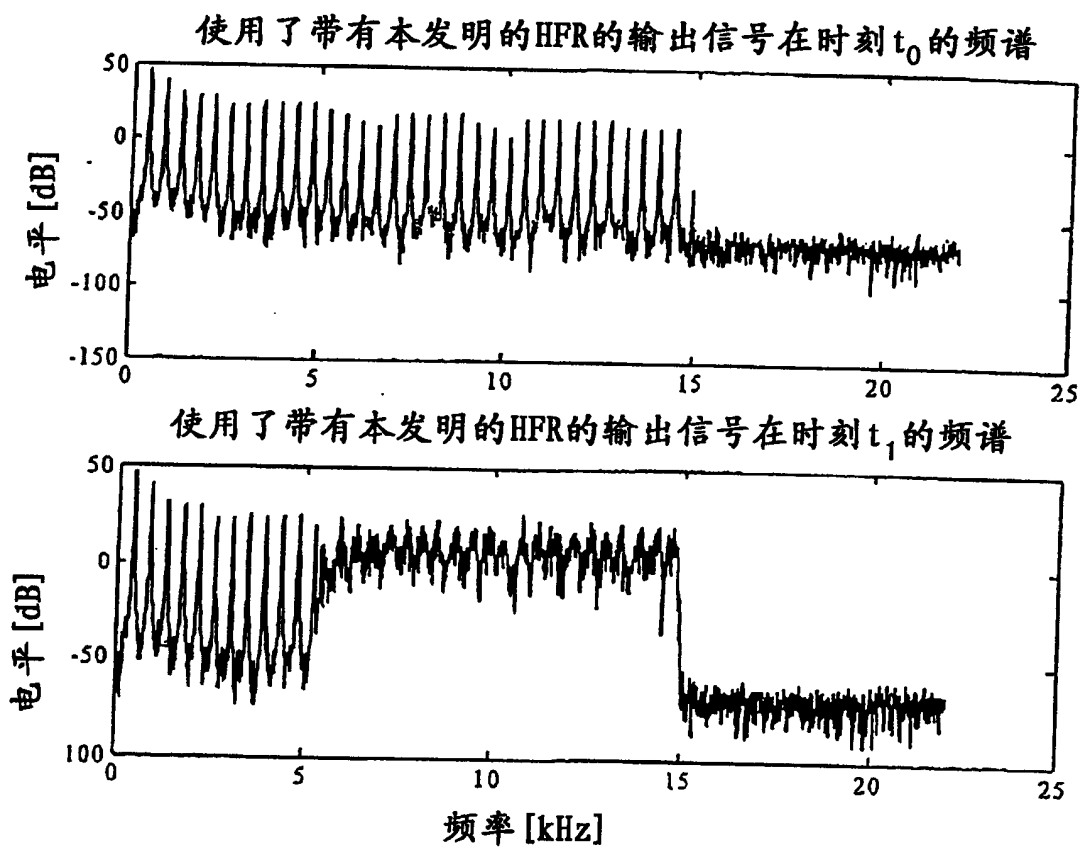


图 5a

最差情况信号，频谱FFT长度=4096

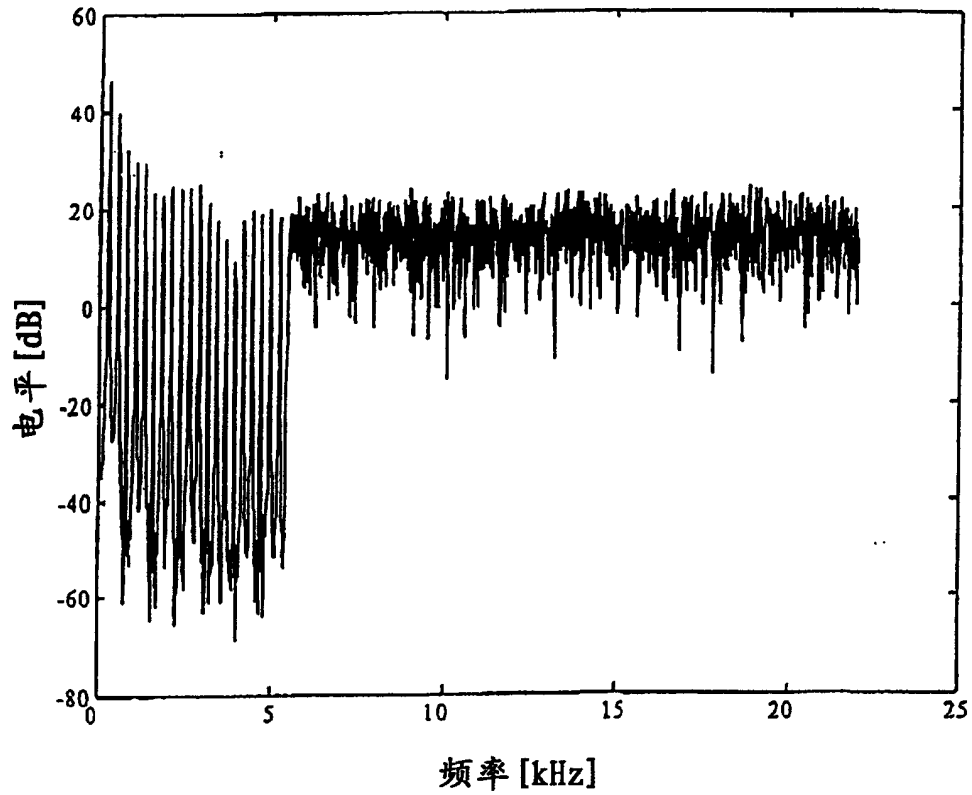


图 5b

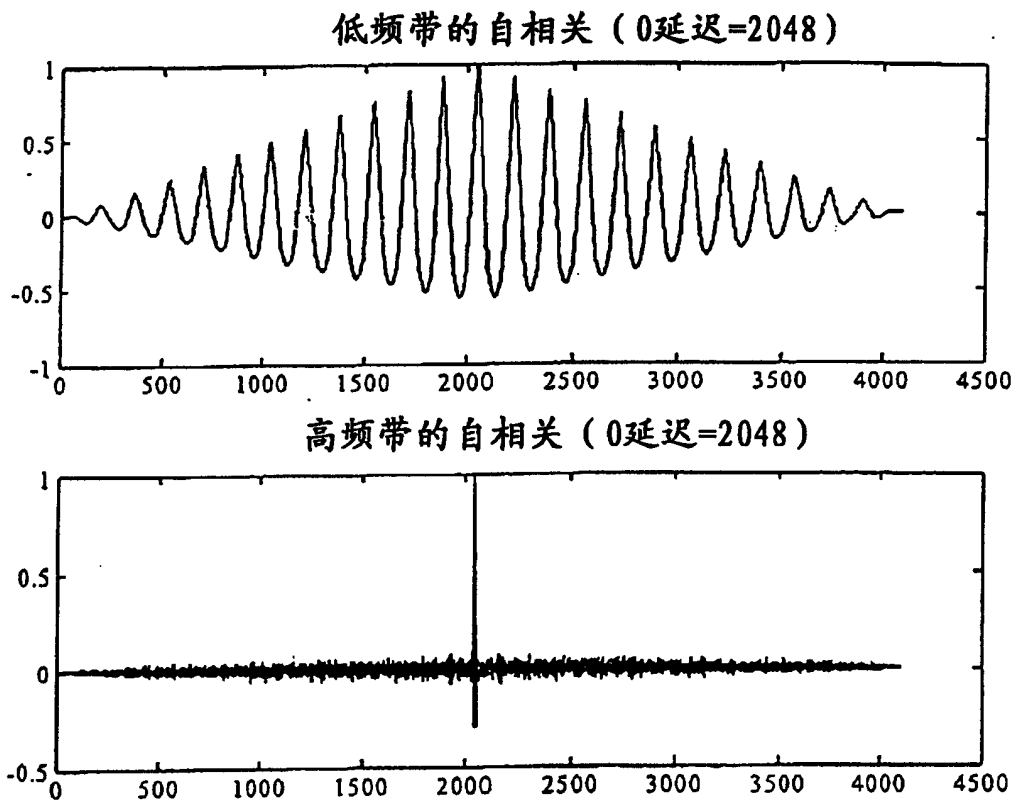


图 5c

音频-噪声比例

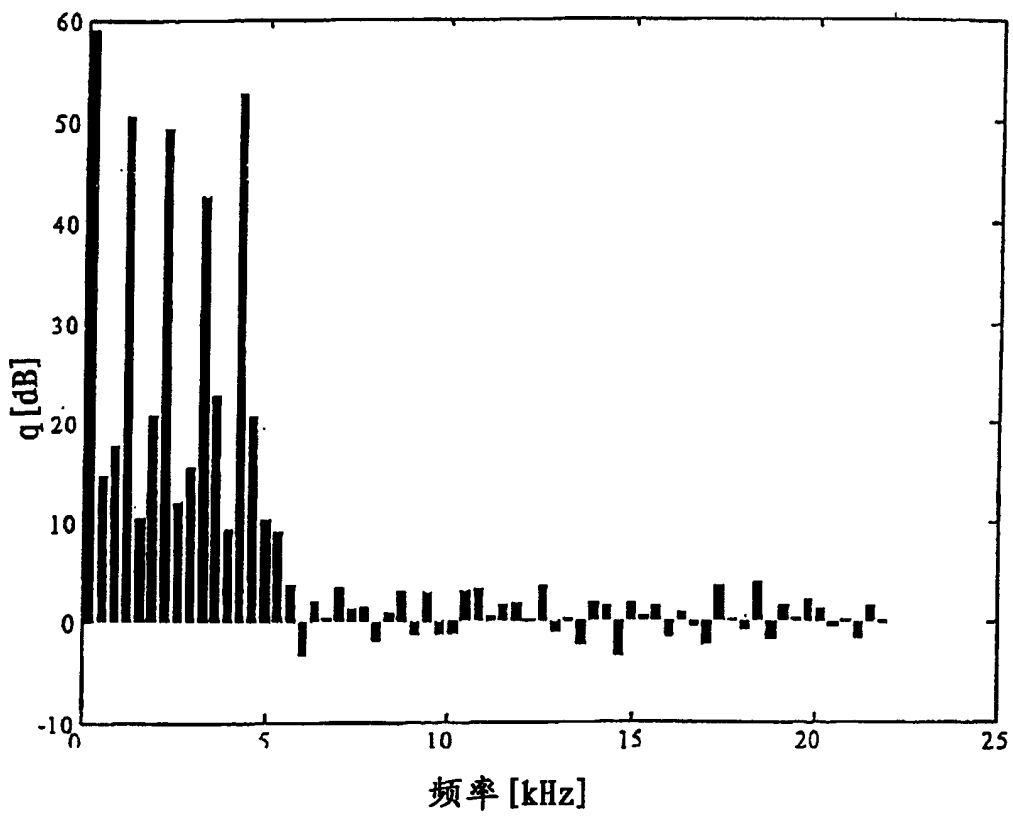


图6

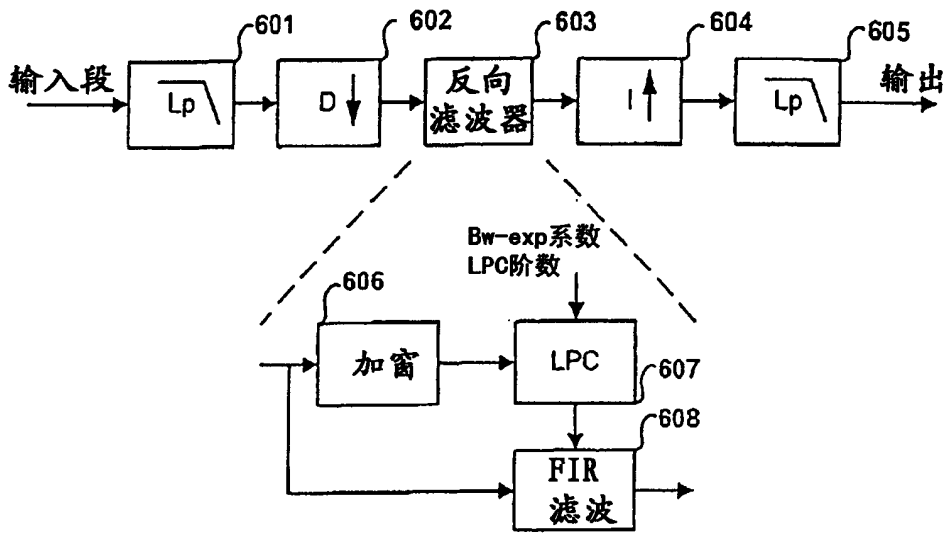


图7

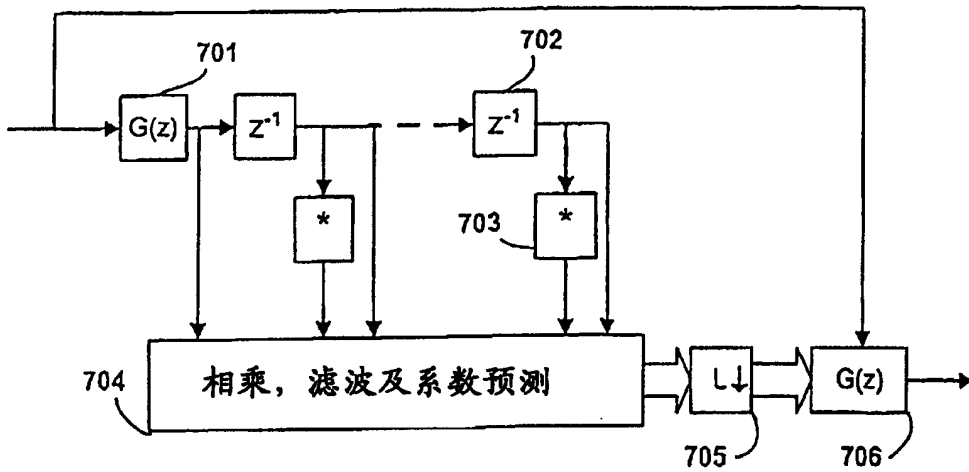


图8

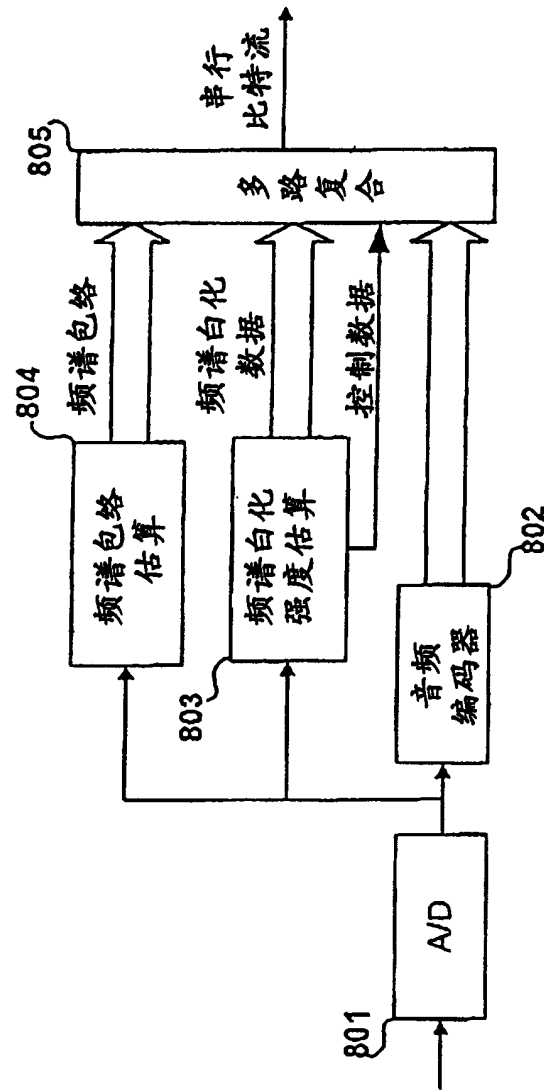


图9

