



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101432610 B

(45) 授权公告日 2011. 11. 23

(21) 申请号 200780015612. 6

(22) 申请日 2007. 04. 18

(30) 优先权数据

06113576. 0 2006. 05. 05 EP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 10. 30

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2007/053783 2007. 04. 18

(87) PCT申请的公布数据

W02007/128661 EN 2007. 11. 15

(73) 专利权人 汤姆森许可贸易公司

地址 法国布洛涅-比昂库尔

(72) 发明人 约翰尼斯·伯姆 彼得·杰克斯

弗洛里安·凯勒 奥利弗·乌伯特
斯文·科登(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 戎志敏

(51) Int. Cl.

G10L 19/00 (2006. 01)

G10L 19/14 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2004/0054529 A1, 2004. 03. 18, 全文.

US 2002/087304 A1, 2002. 07. 04, 全文.

CN 1262815 A, 2000. 08. 09, 摘要, 说明书第
2 页 21 行至第 5 页 7 行.ADISTAMBHA K ET AL. An Investigation
into Embedded Audio Coding using
An AAC Perceptually Lossless Base
Layer. 《PROCEEDINGS OF THE AUSTRALIAN
INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPEECH SCIENCE
AND TECHNOLOGY》. 2004, 227 页右栏倒数最后一段
至 228 页右栏 60 行, 图 1.JIN A ET AL. Scalable audio coder based
on quantizer units of MDCT coefficients.
《ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING,
1999. PROCEEDINGS》. 1999, 898 页左栏第一段至
899 页左栏第一段, 图 5.

审查员 王玥

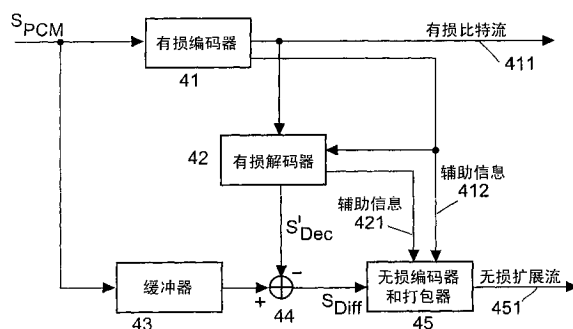
权利要求书 4 页 说明书 11 页 附图 6 页

(54) 发明名称

使用有损编码的数据流和无损扩展数据流对
源信号进行无损编码的方法及设备

(57) 摘要

在基于有损的无损编码中, PCM 音频信号通过有损编码器 (41) 至有损解码器 (42)。有损编码器提供有损比特流。对 PCM 信号与有损解码器输出之间的差信号 (S_{Diff}) 进行无损编码 (52), 提供扩展比特流。本发明通过扩展便于提高有损感知音频编码/解码, 其中所述扩展通过增强的去相关, 能够在数学上精确再现原始波形, 并且本发明提供了附加数据以在解码器处重建中间质量音频信号。无损扩展能够用于将广泛使用的 mp3 编码/解码扩展为无损编码/解码和高质量 mp3 编码/解码。



1. 一种使用有损编码的数据流 (411) 和无损扩展数据流 (451) 对源信号 (S_{PCM}) 进行无损编码的方法, 所述有损编码的数据流 (411) 和无损扩展数据流 (451) 一起形成所述源信号的无损编码的数据流 (1322), 所述方法包括以下步骤:

- 对所述源信号进行有损编码 (41), 其中所述有损编码提供所述有损编码的数据流 (411) 以及频谱白化数据 (661);
- 对所述有损编码的数据进行相应的有损解码 (42), 从而重建标准解码的信号 (S_{Dec}), 以及使用所述频谱白化数据, 根据所述标准解码的信号来构造高质量解码的信号 (S'_{Dec});
- 形成 (43, 44) 所述源信号 (S_{PCM}) 与所述高质量解码的信号 (S'_{Dec}) 之间的差信号 (S_{Diff}), 以及对所述差信号进行无损编码 (45);
- 将所述编码的差信号与所述频谱白化数据 (661) 一起进行打包, 以形成所述无损扩展数据流 (451),

其中, 所述频谱白化数据 (661) 是通过以下方式产生的:

- 在分析滤波器组 (61) 中对所述源信号 (S_{PCM}) 进行处理, 并将所述分析滤波器组 (61) 的输出信号量化 (62), 形成 (65) 分析滤波器组的输出信号 (611) 与量化输出信号 (621) 之间的差信号 (651), 其中所述量化是由感知模型计算器 (64) 来控制的;
- 将分析滤波器组的输出信号 (611) 与量化输出信号 (621) 之间的所述差信号 (651) 量化 (66), 控制 (67) 该进一步的量化, 使得所述进一步的量化的输入与输出之间的差信号 (681) 接近白频谱, 从而所述进一步的量化的输出信号形成所述频谱白化数据 (661);

其中, 所述进一步的量化 (66) 是由适配控制器 (67) 控制的, 所述适配控制器 (67) 对所述频谱白化数据 (661) 的当前比特率进行检验, 如果所述当前比特率超过预定的阈值, 则设置逃逸信号 (671);

- 其中, 对所述差信号 (S_{Diff}) 的所述无损编码使用熵编码器 (93), 仅在设置了所述逃逸信号 (671) 的情况下所述熵编码器 (93) 的输入信号通过 LPC 去相关器 (91)。

2. 根据权利要求 1 的方法, 其中, 对所述频谱白化数据 (661) 进行熵编码 (93)。

3. 根据权利要求 1 的方法, 其中, 所述 LPC 去相关器是 LPC 滤波器, 使用信息项和 / 或帮助信息项来确定所述 LPC 滤波器的滤波器系数。

4. 根据权利要求 3 的方法, 其中, 所述信息项是缩放因子和 / 或所述有损编码的数据流 (411) 的子带域中的有系数块的频谱。

5. 根据权利要求 1 的方法, 其中, 所述无损扩展数据流 (451) 包括:

- 编码的频谱白化数据 (661);
- 指示 LPC 去相关是有效的逃逸信号 (671);
- 帮助信息信号;
- 对于文件至文件应用的有损编码器延迟值和 / 或原始文件长度值。

6. 一种对无损编码的源信号 (S_{PCM}) 数据流进行解码的方法, 所述数据流是从有损编码的数据流 (411) 和无损扩展数据流 (451) 得到的, 所述有损编码的数据流 (411) 和无损扩展数据流 (451) 一起形成所述源信号的无损编码的数据流 (1322),

其中对所述源信号进行了有损编码 (41), 所述有损编码提供所述有损编码的数据流 (411) 以及频谱白化数据 (661),

其中对所述有损编码的数据进行了相应的有损解码 (42), 从而重建标准解码的信号

(S_{Dec}), 以及使用所述频谱白化数据, 根据所述标准解码的信号构造了高质量解码的信号 (S'_{Dec}),

其中形成了 (43, 44) 所述源信号 (S_{PCM}) 与所述高质量解码的信号 (S'_{Dec}) 之间的差信号 (S_{Diff}), 以及对所述差信号进行了无损编码 (45),

其中将所述无损编码的差信号与所述频谱白化数据 (661) 一起进行打包以形成所述无损扩展数据流 (451),

其中, 所述频谱白化数据 (661) 是通过以下方式产生的:

- 在分析滤波器组 (61) 中对所述源信号 (S_{PCM}) 进行处理, 并将所述分析滤波器组 (61) 的输出信号量化 (62), 形成 (65) 分析滤波器组的输出信号 (611) 与量化输出信号 (621) 之间的差信号 (651), 其中所述量化是由感知模型计算器 (64) 来控制的;

- 将分析滤波器组的输出信号 (611) 与量化输出信号 (621) 之间的所述差信号 (651) 量化 (66), 控制 (67) 该进一步的量化, 使得所述进一步的量化的输入与输出之间的差信号 (681) 接近白频谱, 从而所述进一步的量化的输出信号形成所述频谱白化数据 (661);

其中, 所述进一步的量化 (66) 是由适配控制器 (67) 控制的, 所述适配控制器 (67) 对所述频谱白化数据 (661) 的当前比特率进行检验, 如果所述当前比特率超过预定的阈值, 则设置逃逸信号 (671);

所述解码方法包括步骤:

- 对所述无损扩展数据流 (451) 进行解包 (52) 以及对所述无损编码的差信号进行解码 (52), 以提供所述无损编码的差信号 (S_{Diff}) 和所述频谱白化数据 (661), 其中, 对所述无损编码的差信号 (S_{Diff}) 的所述解码使用熵解码器 (112), 仅在编码处设置了所述逃逸信号的情况下所述熵解码器 (112) 的输出信号通过 LPC 合成 (114);

- 对所述有损编码的数据流 (411) 进行有损解码 (51), 从而重建所述标准解码的信号 (S_{Dec}), 以及使用所述频谱白化数据, 根据所述标准解码的信号来重建 (51) 所述高质量解码的信号 (S'_{Dec});

- 根据所述解码的无损编码的差信号 (S_{Diff}) 以及根据所述高质量解码的信号 (S'_{Dec}), 形成 (53) 重建的源信号 (S_{PCM})。

7. 根据权利要求 6 的方法, 其中, 在编码处对所述频谱白化数据 (661) 进行熵编码 (93), 以及在解码处对所述频谱白化数据 (661) 进行熵解码 (112)。

8. 根据权利要求 6 的方法, 其中, 所述 LPC 合成是通过 LPC 滤波器执行的, 使用信息项和 / 或帮助信息项来确定所述 LPC 滤波器的滤波器系数。

9. 根据权利要求 8 的方法, 其中, 所述信息项是缩放因子和 / 或所述有损编码的数据流 (411) 的子带域中的有系数块的频谱。

10. 根据权利要求 6 的方法, 其中, 所述无损扩展数据流 (451) 包括:

- 编码的频谱白化数据 (661);
- 指示 LPC 去相关是有效的逃逸信号 (671);
- 帮助信息信号;
- 对于文件至文件应用的有损编码器延迟值和 / 或原始文件长度值。

11. 一种使用有损编码的数据流 (411) 和无损扩展数据流 (451) 对源信号 (S_{PCM}) 进行无损编码的设备, 所述有损编码的数据流 (411) 和无损扩展数据流 (451) 一起形成所述源

信号的无损编码的数据流 (1322), 所述设备包括:

- 适于对所述源信号进行有损编码的装置 (41), 其中所述有损编码提供所述有损编码的数据流 (441) 以及频谱白化数据 (661);

- 适于对所述有损编码的数据进行相应的有损解码, 从而重建标准解码的信号 (S_{Dec}), 以及使用所述频谱白化数据, 根据所述标准解码的信号来构造高质量解码的信号 (S'_{Dec}) 的装置 (42);

- 适于形成所述源信号 (S_{PCM}) 与所述高质量解码的信号 (S'_{Dec}) 之间的差信号 (S_{Diff}), 对所述差信号进行无损编码, 并将所述编码的差信号与所述频谱白化数据 (661) 一起进行打包以形成所述无损扩展数据流 (451) 的装置 (43, 44, 45),

其中, 所述有损编码装置包括:

- 适于在分析滤波器组中对所述源信号 (S_{PCM}) 进行处理, 并将所述分析滤波器组的输出信号量化, 形成 (65) 分析滤波器组的输出信号 (611) 与量化输出信号 (621) 之间的差信号 (651) 的装置 (61, 62), 其中所述量化是由感知模型计算器 (64) 来控制的;

- 适于将分析滤波器组的输出信号 (611) 与量化输出信号 (621) 之间的所述差信号 (651) 量化的装置 (66), 控制该进一步的量化, 使得所述进一步的量化的输入与输出之间的差信号 (681) 接近白频谱, 从而所述进一步的量化的输出信号形成所述频谱白化数据 (661),

其中, 所述进一步的量化 (66) 是由适配控制器 (67) 控制的, 所述适配控制器 (67) 对所述频谱白化数据 (661) 的当前比特率进行检验, 如果所述当前比特率超过预定的阈值, 则设置逃逸信号 (671);

- 其中, 在所述差信号形成装置中, 对所述无损编码的差信号 (S_{Diff}) 的所述无损编码使用熵编码器 (93), 仅在设置了所述逃逸信号 (671) 的情况下所述熵编码器 (93) 的输入信号通过 LPC 去相关器 (91)。

12. 根据权利要求 11 的设备, 其中, 对所述频谱白化数据 (661) 进行熵编码 (93)。

13. 根据权利要求 11 的设备, 其中, 所述 LPC 去相关器是 LPC 滤波器, 使用信息项和 / 或帮助信息项来确定所述 LPC 滤波器的滤波器系数。

14. 根据权利要求 13 的设备, 其中, 所述信息项是缩放因子和 / 或所述有损编码的数据流 (411) 的子带域中的有系数块的频谱。

15. 根据权利要求 11 的设备, 其中, 所述无损扩展数据流 (451) 包括:

- 编码的频谱白化数据 (661);

- 指示 LPC 去相关是有效的逃逸信号 (671);

- 帮助信息信号;

- 对于文件至文件应用的有损编码器延迟值和 / 或原始文件长度值。

16. 一种对无损编码的源信号 (S_{PCM}) 数据流进行解码的设备, 所述数据流是从有损编码的数据流 (411) 和无损扩展数据流 (451) 得到的, 所述有损编码的数据流 (411) 和无损扩展数据流 (451) 一起形成所述源信号的无损编码的数据流 (1322),

其中对所述源信号进行了有损编码 (41), 所述有损编码提供所述有损编码的数据流 (411) 以及频谱白化数据 (661),

其中对所述有损编码的数据进行了相应的有损解码 (42), 从而重建了标准解码的信

号 (S_{Dec}), 以及使用所述频谱白化数据, 根据所述标准解码的信号构造了高质量解码的信号 (S'_{Dec}),

其中形成了 (43, 44) 所述源信号 (S_{PCM}) 与所述高质量解码的信号 (S'_{Dec}) 之间的差信号 (S_{Diff}), 以及对所述差信号进行了无损编码 (45),

其中将所述无损编码的差信号与所述频谱白化数据 (661) 一起进行打包以形成所述无损扩展数据流 (451),

其中, 所述频谱白化数据 (661) 是通过以下方式产生的:

- 在分析滤波器组 (61) 中对所述源信号 (S_{PCM}) 进行处理, 并将所述分析滤波器组 (61) 的输出信号量化 (62), 形成 (65) 分析滤波器组的输出信号 (611) 与量化输出信号 (621) 之间的差信号 (651), 其中所述量化是由感知模型计算器 (64) 来控制的;

- 将分析滤波器组的输出信号 (611) 与量化输出信号 (621) 之间的所述差信号 (651) 量化 (66), 控制 (67) 该进一步的量化, 使得所述进一步的量化的输入与输出之间的差信号 (681) 接近白频谱, 从而所述进一步的量化的输出信号形成所述频谱白化数据 (661),

其中, 所述进一步的量化 (66) 是由适配控制器 (67) 控制的, 所述适配控制器 (67) 对所述频谱白化数据 (661) 的当前比特率进行检验, 如果所述当前比特率超过预定的阈值, 则设置逃逸信号 (671),

所述解码设备包括:

- 适于对所述无损扩展数据流 (451) 进行解包并对所述无损编码的差信号进行解码, 以提供所述无损编码的差信号 (S_{Diff}) 和所述频谱白化数据 (661) 的装置 (52), 其中, 对所述无损编码的差信号 (S_{Diff}) 的所述解码使用熵解码器 (112), 仅在编码处设置了所述逃逸信号的情况下所述熵解码器 (112) 的输出信号通过 LPC 合成 (114);

- 适于对所述有损编码的数据流 (411) 进行有损解码, 从而重建所述标准解码的信号 (S_{Dec}), 以及使用所述频谱白化数据, 根据所述标准解码的信号来重建 (51) 所述高质量解码的信号 (S'_{Dec}) 的装置 (51);

- 适于根据所述解码的无损编码的差信号 (S_{Diff}) 以及根据所述高质量解码的信号 (S'_{Dec}) 来形成重建的源信号 (S_{PCM}) 的装置 (53)。

17. 根据权利要求 16 的设备, 其中, 在编码处对所述频谱白化数据 (661) 进行熵编码 (93), 以及在解码处对所述频谱白化数据 (661) 进行熵解码 (112)。

18. 根据权利要求 16 的设备, 其中, 所述 LPC 合成是通过 LPC 滤波器执行的, 使用信息项和 / 或帮助信息项来确定所述 LPC 滤波器的滤波器系数。

19. 根据权利要求 18 的设备, 其中, 所述信息项是缩放因子和 / 或所述有损编码的数据流 (411) 的子带域中的有系数块的频谱。

20. 根据权利要求 16 的设备, 其中, 所述无损扩展数据流 (451) 包括:

- 编码的频谱白化数据 (661);
- 指示 LPC 去相关是有效的逃逸信号 (671);
- 帮助信息信号;
- 对于文件至文件应用的有损编码器延迟值和 / 或原始文件长度值。

使用有损编码的数据流和无损扩展数据流对源信号进行无损编码的方法以及设备

技术领域

[0001] 本发明涉及使用有损编码 (encode) 的数据流和无损扩展数据流对源信号进行无损编码的方法以及设备,其中所述有损编码的数据流和无损扩展数据流一起形成所述源信号的无损编码的数据流。通过能够在数学上精确(无损)再现原始音频信号波形的扩展数据增强了有损感知音频编码(coding)数据。

背景技术

[0002] 在图1中描述了无损音频编码的基本原理。数字PCM音频信号采样并不互相独立。信号去相关11用于在熵编码12之前减小该依赖性。该过程需要是可逆的,以能够恢复原始信号。现有的去相关技术使用线性预测滤波(还称作线性预测编码LPC)、整数滤波器组(integerfilter-bank)以及基于有损的方式。

[0003] 在图2和图3中描述了基于有损的无损编码的基本原理。在图2中的编码部分(左侧),PCM音频输入信号 S_{PCM} 通过有损编码器21至有损解码器22,并且作为有损比特流至解码部分(右侧)的有损解码器25。有损编码和解码用于对信号进行去相关。在减法器23中将解码器22的输出信号从输入信号 S_{PCM} 去除,并且得到的差信号通过有损编码器24,作为扩展比特流到达无损解码器27。26将解码器25和27的输出信号组合,以重新得到原始信号 S_{PCM} 。在EP-B-0756386和US-B-6498811中针对音频编码公开了该基本原理,还在P. Craven, M. Gerzon, "Lossless Coding for Audio Discs", J. Audio Eng. Soc., Vol. 44, No. 9, September 1996中以及在J. Koller, Th. Sporer, K. H. Brandenburg, "Robust Coding of High Quality Audio Signals", AES103rd Convention, Preprint 4621, August 1997中论述了该基本原理。

[0004] 在图3中的有损编码器中,PCM音频输入信号 S_{PCM} 通过分析滤波器组31以及子带(sub-band)采样的量化32至编码和比特流打包(packing)33。由接收信号 S_{PCM} 并从分析滤波器组31接收相应信息的感知模型计算器34来控制量化。

[0005] 在解码器侧,解码的有损比特流进入用于对比特流解包的装置35,然后进入用于对子带采样进行解码的装置36以及合成滤波器组37,输出解码后的有损PCM信号 S_{Dec} 。

[0006] 在标准ISO/IEC11172-3(MPEG-1Audio)中详细描述了针对有损编码和解码的示例。

[0007] 因为有损编码器生成在频域中与掩蔽(masking)阈值成比例的误差信号 S_{Diff} ,所以未很好地将信号去相关,从而信号对于熵编码而言是次最佳的。因此,以下公开关注对误差信号 S_{Diff} 的特殊处理。一般的方法是将LPC去相关方案的变体应用到误差信号 S_{Diff} : WO-A-9953677、US-A-20040044520、WO-A-2005098823。在EP-A-0905918中,利用反馈环路将误差信号 S_{Diff} 的幅度用于有损编码器部分的量化步骤,以控制在有损编码器中的量化从而产生对误差信号 S_{Diff} 的更好的去相关。

发明内容

[0008] 在为无损编码提供无损编码扩展时,期望以可缩放的 (scalable) 的方式使该过程变得容易。

[0009] 本发明将要解决的问题是,以可缩放的方式为有损编码 / 解码提供一种改进的无损编码 / 解码扩展,例如,有损编码 / 解码是基于 mp3 (MPEG-1Audio Layer3) 的。利用权利要求 1 中公开的编码方法以及权利要求 3 和 5 中的解码方法解决了该问题。分别在权利要求 2、4 和 6 中公开了使用这些方法的设备。

[0010] 本发明利用能够在数学上精确再现 (也就是无损编码 / 解码) 原始波形的扩展,便于增强有损感知音频编码 / 解码。基于有损的无损编码通过将频谱去相关嵌入有损编码器 - 解码器中并嵌入附加时间 LPC 去相关,使用增强的去相关,其中不需要传输 LPC 滤波器参数。

[0011] 有利地,本发明的无损扩展可用于将广泛使用的 mp3 编码 / 解码扩展为无损编码 / 解码。

[0012] 有利地,本发明的编码方法适合使用有损编码的数据流和无损扩展数据流对源信号进行无损编码,所述有损编码的数据流和无损扩展数据流一起形成所述源信号的无损编码的数据流,所述方法包括步骤:

[0013] - 对所述源信号进行有损编码,其中所述有损编码提供所述有损编码的数据流以及频谱白化数据;

[0014] - 对所述有损编码的数据进行相应的有损解码,从而重建标准解码的信号,以及使用所述频谱白化数据,根据所述标准解码的信号来构造高质量解码的信号;

[0015] - 形成所述源信号与所述高质量解码的信号之间的差信号,以及对所述差信号进行无损编码;

[0016] - 将所述编码的差信号与所述频谱白化数据一起进行打包,以形成所述无损扩展数据流。

[0017] 原理上,本发明的编码设备适于使用有损编码的数据流和无损扩展数据流对源信号进行无损编码,所述有损编码的数据流和无损扩展数据流一起形成所述源信号的无损编码的数据流,所述设备包括:

[0018] - 适于对所述源信号进行有损编码的装置,其中所述有损编码提供所述有损编码的数据流以及频谱白化数据;

[0019] - 适于对所述有损编码的数据进行相应的有损解码,从而重建标准解码的信号以及使用所述频谱白化数据根据所述标准解码的信号来构造高质量解码的信号的装置;

[0020] - 适于形成所述源信号与所述高质量解码的信号之间的差信号、以及适于对所述差信号进行无损编码、以及适于对所述差信号进行无损编码与所述频谱白化数据一起进行打包以形成所述无损扩展数据流的装置。

[0021] 原理上,本发明的编码方法适于对无损编码的源信号数据流进行解码,所述数据流是从有损编码的数据流和无损扩展数据流得到的,所述有损编码的数据流和无损扩展数据流一起形成所述源信号的无损编码的数据流,

[0022] 其中对所述源信号进行了有损编码,所述有损编码提供所述有损编码的数据流以及频谱白化数据,

[0023] 其中对所述有损编码的数据进行了相应的有损解码,从而重建标准解码的信号,以及使用所述频谱白化数据,根据所述标准解码的信号构造了高质量解码的信号,

[0024] 其中形成了所述源信号与所述高质量解码的信号之间的差信号,以及对所述差信号进行了无损编码,

[0025] 其中将所述无损编码的差信号与所述频谱白化数据一起进行打包以形成所述无损扩展数据流,

[0026] 所述方法包括步骤:

[0027] - 对所述无损扩展数据流进行解包,以及对所述无损编码的差信号进行解码,以提供所述差信号和所述频谱白化数据;

[0028] - 对所述有损编码的数据流进行有损解码,从而重建所述标准解码的信号,以及使用所述频谱白化数据,根据所述标准解码的信号来重建所述高质量解码的信号;

[0029] - 根据所述解码的无损编码的差信号以及根据所述高质量解码的信号,形成重建的源信号。

[0030] 原理上,本发明的编码设备适于对无损编码的源信号数据流进行解码,所述数据流是从有损编码的数据流和无损扩展数据流得到的,所述有损编码的数据流和无损扩展数据流一起形成所述源信号的无损编码的数据流,

[0031] 其中对所述源信号进行了有损编码,所述有损编码提供了所述有损编码的数据流以及频谱白化数据,

[0032] 其中对所述有损编码的数据进行了相应的有损解码,从而重建了标准解码的信号,以及使用所述频谱白化数据,根据所述标准解码的信号构造了高质量解码的信号,

[0033] 其中形成了所述源信号与所述高质量解码的信号之间的差信号,以及对所述差信号进行了无损编码,

[0034] 其中将所述无损编码的差信号与所述频谱白化数据一起进行打包以形成所述无损扩展数据流,

[0035] 所述设备包括:

[0036] - 适于对所述无损扩展数据流进行解包以及适于对所述无损编码的差信号进行解码以提供所述差信号和所述频谱白化数据的装置;

[0037] - 适于对所述有损编码的数据流进行有损解码,从而重建所述标准解码的信号,以及使用所述频谱白化数据,根据所述标准解码的信号来重建所述高质量解码的信号的装置;

[0038] - 适于根据所述解码的无损编码差信号以及根据所述高质量解码的信号来形成重建的源信号的装置。

[0039] 原理上,另一种本发明解码方法适于对无损编码的源信号数据流进行解码,所述数据流是从有损编码的数据流和无损扩展数据流得到的,所述有损编码的数据流和无损扩展数据流一起形成所述源信号的无损编码的数据流,

[0040] 其中对所述源信号进行了有损编码,所述有损编码提供了所述有损编码的数据流以及频谱白化数据,

[0041] 其中对所述有损编码的数据进行了相应的有损解码,从而重建了标准解码的信号,以及使用所述频谱白化数据,根据所述标准解码的信号构造了高质量解码的信号,

[0042] 其中形成了所述源信号与所述高质量解码的信号之间的差信号,以及对所述差信号进行了无损编码,

[0043] 其中将所述无损编码的差信号与所述频谱白化数据一起进行打包以形成所述无损扩展数据流,

[0044] 所述方法包括步骤:

[0045] - 对所述无损扩展数据流进行解包以提供所述频谱白化数据;

[0046] - 对所述有损编码的数据流进行有损解码,从而重建所述标准解码的信号,以及使用所述频谱白化数据,根据所述标准解码的信号来重建所述高质量解码的信号。

[0047] 原理上,另一种本发明解码设备适于对无损编码的源信号数据流进行解码,所述数据流是从有损编码的数据流和无损扩展数据流得到的,所述有损编码的数据流和无损扩展数据流一起形成所述源信号的不损编码的数据流,

[0048] 其中对所述源信号进行了有损编码,所述有损编码提供了所述有损编码的数据流以及频谱白化数据,

[0049] 其中对所述有损编码的数据进行了相应的有损解码,从而重建了标准解码的信号,以及使用所述频谱白化数据,根据所述标准解码的信号构造了高质量解码的信号,

[0050] 其中形成了所述源信号与所述高质量解码的信号之间的差信号,以及对所述差信号进行了无损编码,

[0051] 其中将所述无损编码的差信号与所述频谱白化数据一起进行打包以形成所述无损扩展数据流,

[0052] 所述设备包括:

[0053] - 适于对所述无损扩展数据流进行解包以提供所述频谱白化数据的装置;

[0054] - 适于对所述有损编码的数据流进行有损解码,从而重建所述标准解码的信号,以及使用所述频谱白化数据,根据所述标准解码的信号来重建所述高质量解码的信号的装置。

[0055] 在各个从属权利要求中公开了本发明的有利附加实施例。

附图说明

[0056] 参考附图描述了本发明的示例实施例,附图中:

[0057] 图 1 示出了无损音频信号压缩的现有原理;

[0058] 图 2 示出了现有的、基于有损的无损编码器和解码器的方框图;

[0059] 图 3 示出了有损编码器和有损解码器的现有原理操作;

[0060] 图 4 示出了本发明的、基于有损的无损编码的方框图;

[0061] 图 5 示出了本发明的、基于有损的无损解码的方框图;

[0062] 图 6 示出了图 4 中的有损编码器的更详细的方框图;

[0063] 图 7 示出了示例信号:

[0064] a) 在有损编码器子带域中的离散信号频谱,

[0065] b) 感知控制量化后的误差信号,

[0066] c) 白化后的误差信号,

[0067] d) 频谱噪声整形以适配给定的 LPC 滤波器信号;

- [0068] 图 8 示出了图 5 中的有损解码器的更详细的方框图；
- [0069] 图 9 示出了图 4 中的无损编码器和打包器的更详细的方框图；
- [0070] 图 10 示出了 LPC 去相关器；
- [0071] 图 11 示出了图 5 中的无损解包器和解码器的更详细的方框图；
- [0072] 图 12 示出了扩展文件结构；
- [0073] 图 13 示出了比特流格式化。

具体实施方式

[0074] 本发明通过使用改进的有损编码器（如图 4 所示的编码器 41）解决了基于有损的无损编码的次最佳去相关的问题。除了根据原始输入信号 S_{PCM} 生成适应的（compliant）有损比特流 411 以外，该编码器还产生特殊的频谱白化数据，除了其它信息以外，将所述频谱白化数据作为辅助信息 412 发送至相应的改进的有损解码器 42 并发送至输出无损扩展比特流的无损编码器和打包器 45。在图 6 中更详细地示出了有损编码器 41。按照结合图 6 和图 7 所解释的，形成频谱白化数据。在改进的有损解码器 42 中，对有损比特流 44 进行解码并且恢复输入信号当前帧的频谱，由此将来自信号 412 的频谱白化数据添加到频谱中。此后，在解码器 42 中应用合成滤波器组，在减法器 44 中通过从输入信号 S_{PCM} 减去相应解码器 42 输出的信号 S'_{Dec} 来计算时域误差信号 S_{Diff} ，其中已经利用缓冲器 43 对所述输入信号 S_{PCM} 进行了相应的延迟，以对编码器 41 和解码器 42 中所需要的处理时间进行补偿。现在误差信号 S_{Diff} 具有白（也就是平坦（flat））频率功率谱，这等同于具有高去相关性，从而适于高效的熵编码。将信号 S_{Diff} 馈送至无损编码器和打包器 45，其中所述无损编码器和打包器 45 包含熵编码器，并且在所述无损编码器和打包器 45 的无损扩展流 451 输出中包括从编码器 41 提供的有损编码器辅助信息数据 412 以及从解码器 42 提供的有损解码器辅助信息数据 421。

[0075] 为了提高无损编码效率，改进的有损编码器 41 能够减少付给（in favour of）放置在无损编码器和打包器 45 内的附加 LPC 滤波器的白化数据的量（从而降低相关的比特率）。使用有损比特流元素（如在优选实施例中解码器 42 中的缩放因子（scale factor）或块频谱（blockspectrum））来确定 LPC 滤波器系数，仅需要传输很少量的附加数据以便能够在解码器侧计算滤波器系数。

[0076] 在图 5 中的基于有损的无损解码中，在改进的有损解码器 51 中对有损比特流 411 进行解码，有损解码器 51 输出（已知的）有损解码和编码的输出信号 S_{Dec} （例如可以表示为有损模式 1 的解码的 mp3 信号）。

[0077] 例如，在接收无损扩展流 451 时，可以在无损解包器和解码器 52 中执行匹配有损比特流 411 的一致性（consistency）检验以及允许针对不同模式进行解码的许可检验。不同模式可以是有损模式 1、有损模式 2 以及有损模式 3。

[0078] 如果不仅仅以模式 1 操作，则在装置 52 中对接收的频谱白化信号进行解包并且（在其它信息中）作为辅助信息 521 发送至有损解码器 51，在所述有损解码器 51 中将频谱白化数据添加到恢复的频谱中，并且应用合成滤波器组以创建输出信号 S'_{Dec} 。在有损模式 2 中， S'_{Dec} 是输出信号。这是在感知质量方面优于信号 S_{Dec} 的有损信号，在以下描述中称作“中间质量”。不一定要对无损编码的差信号 S_{Diff} 进行解码。

[0079] 在无损模式 3 中,在装置 52 中对无损扩展流 451 进一步进行解包并且在其中应用熵解码,如果在无损扩展比特流 451 中相应地表示了的情况下可以应用可选的 LPC 合成。在优选实施例中,使用来自有损比特流 411 的数据元素的相应信息项(如在有损解码器 51 的子带域中的缩放因子或有关有损耗系数块的频谱)以及在无损扩展流 451 内传输的可选的帮助信息项,来确定 LPC 合成滤波器系数。在装置 52 中恢复误差信号 S_{Diff} 并且所述 S_{Diff} 与信号 S'_{Dec} 同步。在加法器中组合误差信号 S_{Diff} 与信号 S'_{Dec} ,以便重新获得对原始信号 S_{PCM} 的数学上无损的重建。

[0080] 在对信号 S'_{Dec} 的计算方面,有损解码器 51 如在编码部分中的有损解码器 42 一样进行操作。解码部分中的信号 S'_{Dec} 与编码部分中的信号 S'_{Dec} 数学上相同,而且解码部分中的信号 S_{Diff} 与编码部分中的 S_{Diff} 数学上相同。

[0081] 有利地,能够使用整数运算将有损解码器实现 51 和 42 以及装置 52 和装置 54 中的可选 LPC 元件实现为平台无关的。

[0082] 结合图 6 更详细地解释图 4 的有损编码器 41。结合图 8 更详细地解释图 5 的有损解码器 51。通过将图 4 中的有损编码器 41 与有损解码器 42 组合,简化是可行的。

[0083] 有损编码器

[0084] 有损编码器 41 包括:均接收原始输入信号 S_{PCM} 的分析滤波器组 61 和感知模型计算器 64。滤波器组 61 的输出信号传递至减法器 65 的第一输入,通过第一量化装置 62 传递至第一减法器 65 的第二输入、以及传递至提供有损比特流 411 的比特流打包装置 63。分析滤波器组 61 将信号 S_{PCM} 转换到子带域中。

[0085] 在图 7a 中描述了信号 611 的频谱的示例,示出了与频率 f 相对的频谱的幅度 A 。

[0086] 根据由计算器 64 提供的感知模型的控制,在第一量化器 62 中将信号 611 量化。通过从原始子带采样 611 中减去量化后的子带采样 621 来计算误差信号 651。通常该误差信号的幅度与在感知模型中确定的掩蔽阈值成比例。对照信号 611,在图 7b 中描述了示例误差信号 651。

[0087] 在第二量化装置 66 中将误差信号 651 量化,使得在由第二减法器 68 和适配控制器 67 形成的适配控制环内计算另外的误差信号 681,其中,如图 7c 中与信号 611 和 651 一起描述的,另外的误差信号 681 是信号 651 与第二量化器 66 的输出信号之差,并且接近白频谱。第二量化器 66 的输出信号表示频谱白化数据 661,被作为辅助信息 412 的一部分发送至有损解码器 42 以及发送至无损编码器和打包器 45。适配控制 67 控制第二量化器 66,并且关注于为信号 661 找到正确的量化和正确的比特率。如果比特率超过了预定的阈值并且从而未将误差频谱 681 估计为“白色的”,则在辅助信息 412 内发送逃逸(escape)信号 671,指示无损编码器和打包器 45 应该使用附加 LPC 去相关。适配控制 67 针对量化器 66 设置最佳量化步长,以产生平坦噪声基底(flat noise floor),参见图 7c 中的信号 681。该控制可以包括对信号 651 的功率分析。迭代过程是不必要的。

[0088] 适配控制 67 的第二任务是观测对熵编码后的信号 661 的比特率的估计。随后在步骤(step)或阶段(stage)93 中对信号 661 进行熵编码。熵编码后的信号 661 的比特率是对“无损”比特流 451 的总体速率的主要贡献。如果该比特率估计超过了阈值,则发送在时域使用附加 LPC 去相关的逃逸信号 671。

[0089] 在另一实施例中,适配控制 67 可以将信号 661 最优化,使得信号 681 不再是白色

的（也就是适配控制 67 在频率 bin 轴上使用不同的量化步长）。然后形成噪声基底 681 以匹配在不同 LPC 滤波器的字典中的给定 LPC 去相关器滤波器的特性。然后适配控制过程变成迭代的，以最低成本找到对信号 681 的最接近匹配（也就是共有比特率）。在图 7d 中描述了该实施例。

[0090] 有损解码器

[0091] 在图 8 中示出的有损解码器 42 接收有损比特流 441，在比特流解包器 81 中将所述有损比特流 411 解包，并在子带采样解码器 82 中解码（如果适用则包括逆量化器缩放因子处理），以产生与图 6 中的有损编码器中的信号 621 相同的子带采样信号 821。在合成滤波器组 83 中将信号 821 变换回时域，其中所述合成滤波器组 83 在所有情况下恢复信号 S_{Dec} 的一组数据值。在组合器 84 中将（解包之后从无损扩展流中接收到的）频谱白化数据 661 添加到信号 821 中以形成信号 841，所述信号 841 在子带域中具有与图 6 和图 7c 中的信号 681 的量化误差相同的量化误差。合成滤波器组 85 将信号 841 变换回时域，并且在所有情况下恢复信号 S'_{Dec} 的一组数据值。因为通常输出信号 S_{Dec} 或 S'_{Dec} ，所以可以使用分别与信号 821 或信号 841 相连接的单个合成滤波器。

[0092] 应该使用特殊整数运算操作，以平台无关的方式实现有损解码器。在编码或解码侧的无损解码器内将给定的比特流解码为信号 S'_{Dec} 需要在诸如基于 ARM 的、基于英特尔奔腾的、或基于 DSP 的平台之类的每个平台上生成数字上相同的结果。

[0093] 缓冲器和同步

[0094] 有损编码和解码包括在图 4 的信号 S_{PCM} 与 S'_{Dec} 之间的延迟。当在流实时应用中操作无损编码器时，有损编码器知道该延迟并且将对缓冲器 43 中的先入先出（First-In First-Out）缓冲进行控制，以在图 4 的减法器 44 处保证采样精确的（也就是同步的）操作。

[0095] 当针对文件至文件操作来操作无损编码器时（例如将 PCM 音频文件转换为无损编码的文件），可以通过使用如 US-B-6903664 中描述的同步装置来替换缓冲器 43。

[0096] 在优选实施例中，有损编码器将会把指示编码延迟和原始文件长度的信息项插入到前一个或两个音频帧的有损比特流的辅助数据部分中，并插入到无损扩展的第一帧中。有损解码器 42 和 51 将读取该信息并且跳过由延迟信息指示的前面的编码的（零）采样。

[0097] 无损编码器和打包器

[0098] 在图 9 中更详细地示出了图 4 的无损编码器和打包器 45。在常规操作期间将误差信号 S_{Diff} 高度去相关，并且可以在熵编码器 93 中对所述误差信号 S_{Diff} 熵编码，对于该编码而言优选实施例使用 Golomb-Rice 编码。还使用不同熵编码方法（例如 Huffman 编码）在编码器 93 中对（来自总线 412 的）特殊的白化数据 661 进行熵编码。打包器 94 使用熵编码后的数据 931 以及附加信息项 412（如来自有损编码器 41 的逃逸信号 671）来形成基于帧的比特流，并且输出无损扩展流 451。如果具有逃逸信号 671 的有损编码器 41 指示出，则可以在 LPC 去相关器 91 中使用线性预测来将误差信号 S_{Diff} 进一步去相关，在图 10 中更详细地示出了 LPC 去解码器 91。LPC 去解码器 91 从总线 421 接收帮助信息。由开关 92 来执行根据（来自总线 412 的）逃逸信号 671 的切换。

[0099] LPC 去解码器

[0100] 在图 10 中的 LPC 去解码器中，在减法器 101 中从输入信号 S_{Diff} 中减去通过预测

器 102 的版本。将减法器的输出信号馈送至开关 92。预测器 102 使用通过滤波器确定器 (determinator) 103 计算的滤波器, 所述滤波器的滤波器系数是从来自总线 421 的帮助信息信号得到的。

[0101] 滤波器确定器 103 能够按照以下进行操作:

[0102] 模式 1

[0103] 将解码器的缩放因子作为信号 421 传输至滤波器确定器 103。使用这些缩放因子 s_i 对以下变换域中的残余的频谱功率进行估计: $S_{ee}(i) = 2^{-3/8s_i}$, 其中 $i = 0, \dots, N_{band}-1$, (bin 的数目), 其中逐级的功率估计可以是平滑的。

[0104] 复制这些频谱功率值以形成偶数序列 $S'_{ee}(i)$, 其中 $i = 0, \dots, N_{band}-1, \dots, 2N_{band}-1$ 。执行该步骤以产生实值逆 FFT 序列。

[0105] 此后, 由 $iFFT(S'_{ee}(i))$ 来计算自相关。可以使用 Levinson-Durbin 确定 LPC 系数。

[0106] 该过程还可用于无损解码器中。如果在有损编码器比特流 411 内未传输更高频谱的相关部分, 则将该缺失信息 631 从有损编码器中的步骤 / 阶段 63 发送至打包器 94 以进行传输, 并从解包器 111 发送至滤波器确定器 103。

[0107] 模式 2

[0108] 利用适配控制器 67 从 LPS 滤波器系数组的字典中选择一组 LPC 滤波器系数。然后信号 631 变成针对所选组系数的字典索引, 并且被传递至打包器 94 以进行传输。

[0109] 辅助信息

[0110] 辅助信息总线 412 和 421 将数据从有损编码器 41 传送至有损解码器 42 并从两者任一传送至无损编码器和打包器 45, 这些总线包括以下数据元素:

[0111] -(经由总线 412 从编码器 41 发送至解码器 42 以及至编码器 / 打包器 45 的) 编码后的频谱白化数据 661;

[0112] -(经由总线 412 从编码器 41 发送至编码器 / 打包器 45 的) 指示附加 LPC 去相关的 (也就是指示 LPC 去相关以及 LPC 合成是有效的) 逃逸信号 671;

[0113] -(经由总线 421 从解码器 42 分别发送至编码器 / 打包器 45 或 94 的) 帮助信息信号, 也就是用于 LPC 滤波器确定的缩放因子;

[0114] - 从有损编码器 41 发送至编码器打包器 45/94 的、用于针对高频带传输缺失的缩放因子的帮助信息 631, 或一组预定义的 LPC 滤波器系数的索引;

[0115] - 针对文件至文件应用, 还有 (经由总线 421 从编码器 41 发送至编码器 42 以及发送至编码器 / 打包器 45 的) 有损编码器延迟值和 / 或原始文件长度值。

[0116] 基于有损的无损解码

[0117] 如结合图 2 已经描述的, 使用有损解码器 25 和无损解码器 27 来实施解码, 其中将所述有损解码器 25 和无损解码器 27 的输出信号组合以重新获得原始输入信号采样 S_{PCM} 。有利地, 能够以不同的模式来实施解码。

[0118] 模式 1

[0119] 解码器能够对任何适应的 (compliant) 有损比特流 411 进行解码而不出现无损扩展流 451, 并且提供信号 S_{Dec} 。在出现无损扩展流 451 而未提供使用另一模式的许可的情况下, 该模式也有效。优选地, 解码器将检验无损扩展流, 以匹配其权限数据库中的许可 ID。

[0120] 模式 2

[0121] 在检查无损扩展流数据时,解码器中的许可检验也可以启动中间质量模式。有损解码器仅对白化数据 661 进行使用和解包,以提供信号 S'_{Dec} 。

[0122] 模式 3

[0123] 肯定的许可检验结果之后可以开始无损模式解码,并且输出信号 S_{PCM} 。

[0124] 在图 8 中更详细地描述了相应的有损解码器 51。在来自有损解包器和解码器 52 的辅助信息内告知了操作模式。基本上,针对有损解码器 42 所描述的相同细节同样适用。编码后的有损比特流 411 进入用于对比特流进行解包的装置 81,跟随其后的是用于对子带采样进行解码的装置 82 以及合成滤波器组 83,合成滤波器组 83 输出解码后的有损 PCM 信号 S_{Dec} 。在加法器 84 中将来自装置 82 的输出信号与相应的频谱白化数据 661 组合。组合后的信号 841 进入第二合成滤波器组 85,第二合成滤波器组 85 输出解码后的有损 PCM 信号 S'_{Dec} 。

[0125] 无损解包器和解码器

[0126] 图 11 更详细地示出了无损解包器和解码器 52。无损解包器 111 接收解析后并且解包后的无损扩展流 451。

[0127] 将控制信息路由至操作控制器 115,在所述操作控制器 115 中,在文件至文件应用的情况下,能够执行一致性检验以识别关于有损比特流 411 的完整性。作为选项,从无损扩展流 451 中提取参考指纹(例如 CRC 数据)并且对有损比特流 411 的特定数据块计算当前指纹。如果这两个指纹相同,则继续进行正常操作。可以作为下一步骤执行许可检验,以识别允许的操作模式。从外部数据库接收的相应信息项 1151 用于与接收的比特流的许可标识符相比较。确定当前模式,并且相应的信号 1152 用于利用辅助信息通道 521 将有关信息发送至有损解码器 51。在具体实施例中,还可以使用用于对加密后的无损扩展流进行解密的装置。

[0128] 在解包之后,在熵解码器 112 中对音频扩展信号数据 1111 进行熵解码。例如,在解码器 112 中,对熵编码后的频谱白化数据项进行相应的熵解码。将解码后的白化数据 661 发送至有损解码器 51,将差信号数据 S_{Diff} 发送至组合器或求和单元 53。如果由解包器 111 和操作控制器 115 在比特流 451 中识别出应用附加 LPC 合成的逃逸信息,所述控制器将使用信号 1153 将开关 113 切换至 LPC 合成路径。使用帮助信息 1141 计算 LPC 合成滤波器 114 的系数,其中所述帮助信息 1141 是从解包器 111 提供的,或可以根据有损比特流缩放因子或根据解码器子带信号 841 以及在无损扩展比特流 451 中传输的附加信息(如未在有损比特流 441 中传输的缺失的缩放因子或高频带的频谱功率信息,或指向一组预定义的 LPC 系数的索引值)来确定所述帮助信息 1141。

[0129] 辅助信息

[0130] 在有损解码器 51 与无损解包器和解码器 52 之间交换的辅助信息 521 包括以下信息和数据元素:

[0131] -(发送至解码器 52 的)模式指示符信号 1152;

[0132] -(发送至解码器 52 的)频谱白化数据 661;

[0133] -(发送至无损解包器和解码器 52 的)来自有损解码器 42 以确定 LPC 滤波器系数的帮助信息;

[0134] -(发送至解码器 52 的)针对文件至文件应用的有损编码器延迟值和/或原始文

件长度值。

[0135] 无损扩展比特流

[0136] 可以作为头数据元素在无损扩展比特流中提供以下数据元素：

[0137] - 明确识别相应无损比特流的指纹。对于 2 个文件应用而言尤其需要该元素，对于容器（一个文件）和流应用而言可以忽略该元素；

[0138] - 模式指示符和相应的 DRM 信息；

[0139] - 同步信息（有损编码延迟、原始文件长度、文件结束指示符）；

[0140] - 原始信号的 PCM 字长（16、20 或 24 比特）；

[0141] - 提示点（cue point）信息，所述提示点信息能够在（可变比特率的）流内部更快地对无损数据帧进行寻址，包括恒定帧间隔指针和帧间隔长度指示符的表格。

[0142] 在文件至文件应用中，仅需要在无损比特流的开始处提供一次这些信息项。在流应用中，需要每隔 N 个帧发送除提示点数据之外的其它信息项。

[0143] 无损扩展比特流的帧数据元素是：

[0144] - 使得针对有损比特流能够进行帧同步操作的帧边界指示符；

[0145] - 编码的频谱误差（也就是白化）数据；

[0146] - 指示使用附加 LPC 合成的逃逸信息，以及 LPC 帮助信息；

[0147] - 编码的时间误差信号数据。

[0148] 在图 12 中示出了无损扩展流文件格式。文件头提供辅助信息以开始解码过程。头数据自后，布置了包括用于重建中间质量音频信号以及用于重建无损质量音频信号的数据在内的可用长度的数据帧。

[0149] 文件头数据：

[0150] - 头 ID；

[0151] - 头长度；

[0152] - 指纹（例如 CRC32 数据）；

[0153] - 模式指示信息块；

[0154] - 辅助信息：编解码器延迟、原始文件长度、PCM 字长、采样速率；

[0155] - 提示点表格数据块：块长度值、帧中的间隔信息、表格条目的数目、指针表格。

[0156] 帧数据：

[0157] - 同步字（可选的）以及帧长度；

[0158] - 编码的频谱误差（也就是白化）数据：块长度、编码的数据。

[0159] 这是编码为中间质量（模式 2）所需要的数据。在该数据出现的情况下，在模式 2 下进行操作的解码器将跳过其余帧数据；

[0160] -LPC 帮助信息：块长度值、LPC 模式指示符、编码的数据；

[0161] - 编码的时间误差信号：块长度值、编码的数据。

[0162] 比特流格式和权限管理

[0163] 参见图 13，可以针对不同的存储或流应用来格式化有损比特流 411 和无损扩展流 451。将基于有损的无损编码 131 的输出信号 411 和 451 馈送至比特流格式化器（formatter）132。得到的输出信号 1322 可以是单个的流或文件，或可以包含 2 个流或 2 个文件。可以通过为格式化器 132 提供相应的权限管理数据 1321 来应用权限管理处理。

[0164] 在解码侧,可以使用相应的比特流去格式化器。

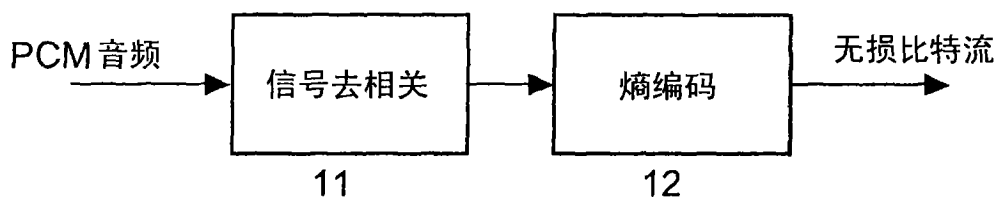


图 1

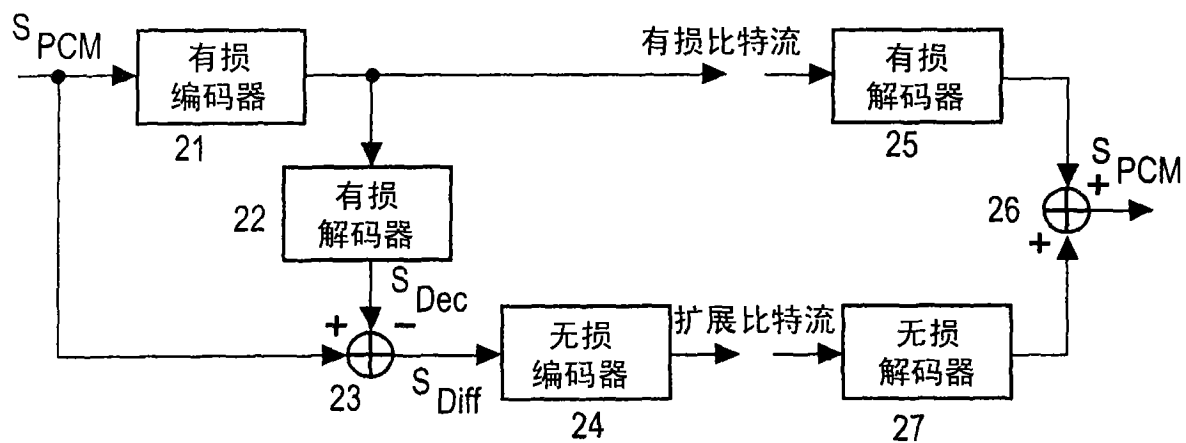


图 2

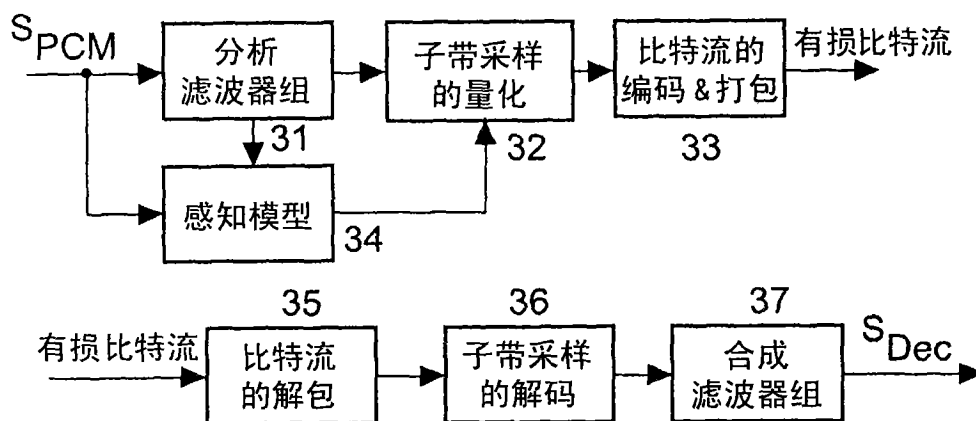


图 3

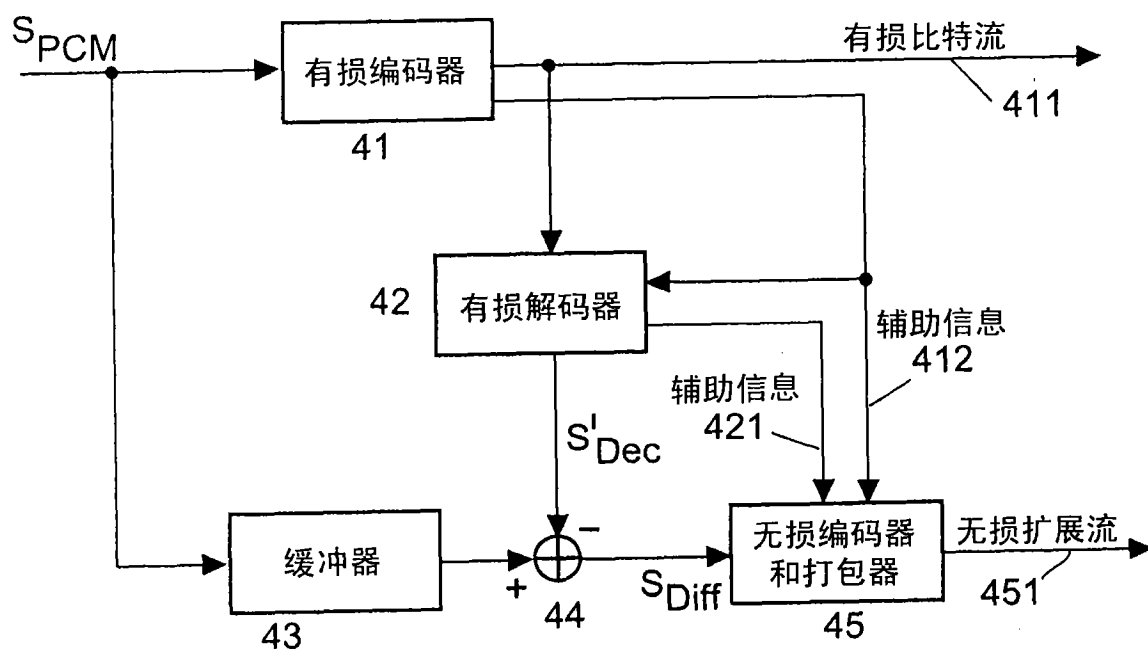


图 4

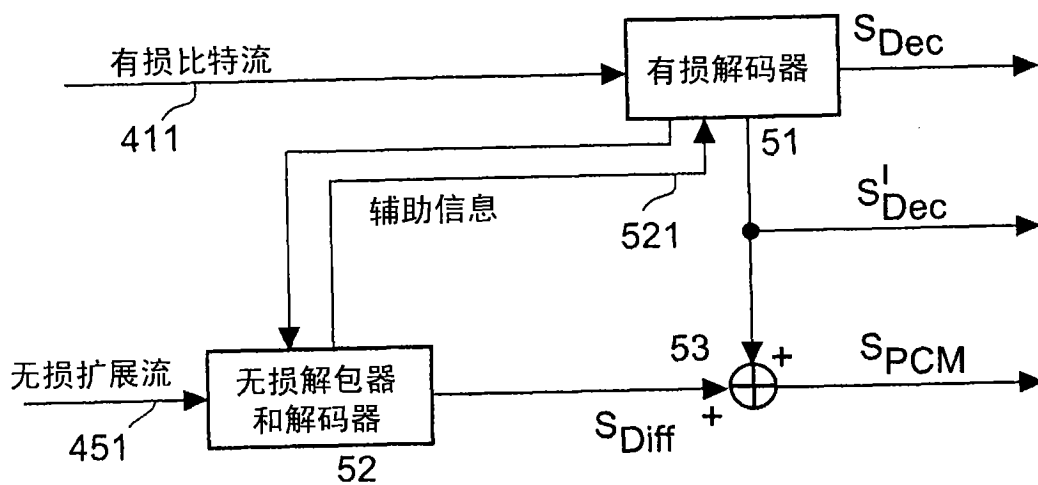


图 5

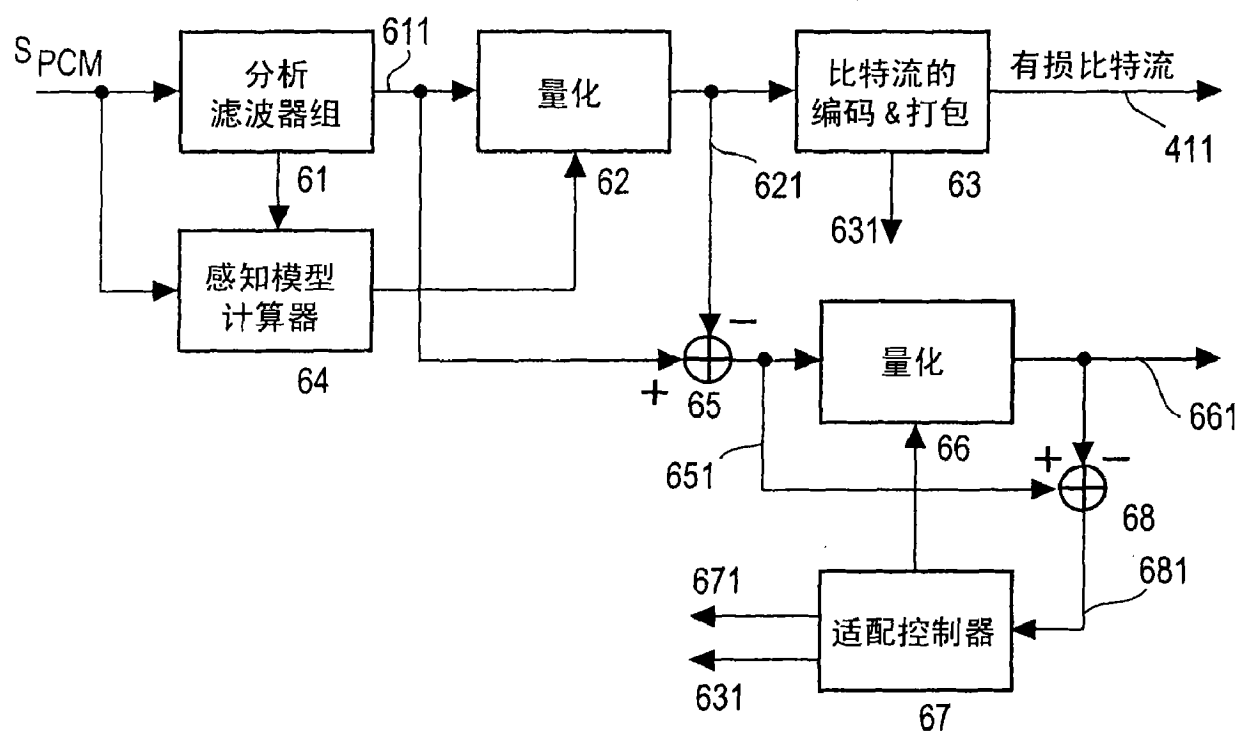


图 6

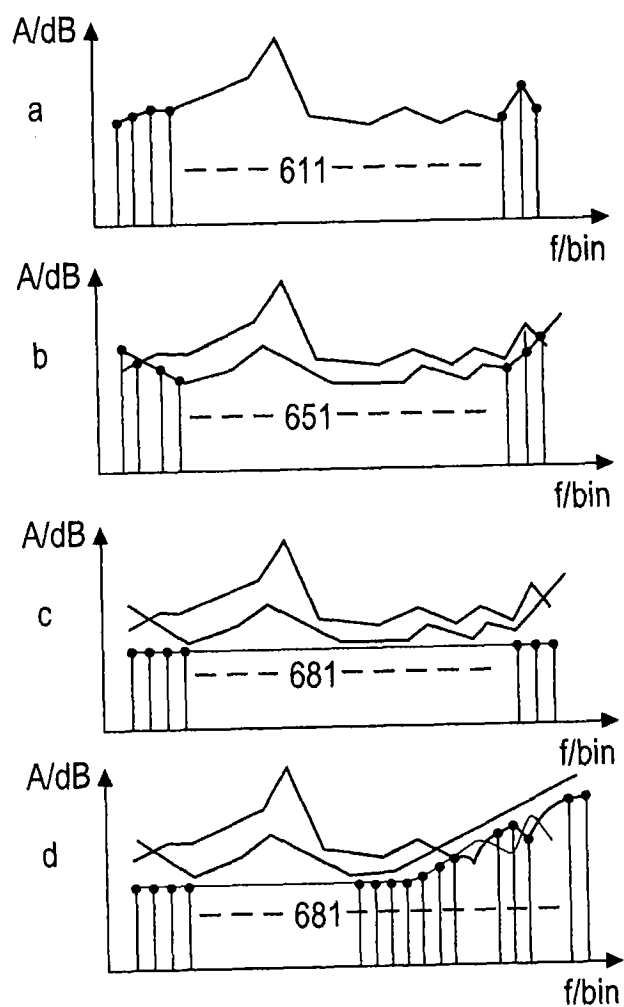


图 7

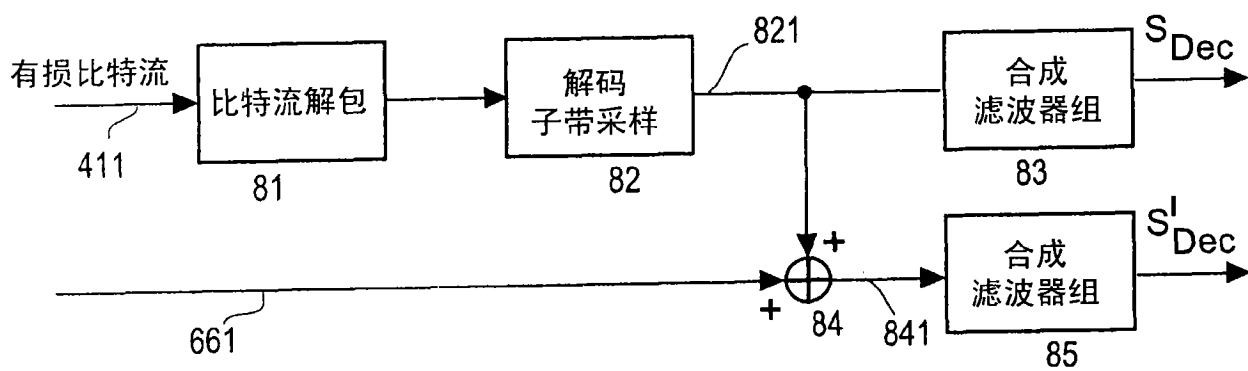


图 8

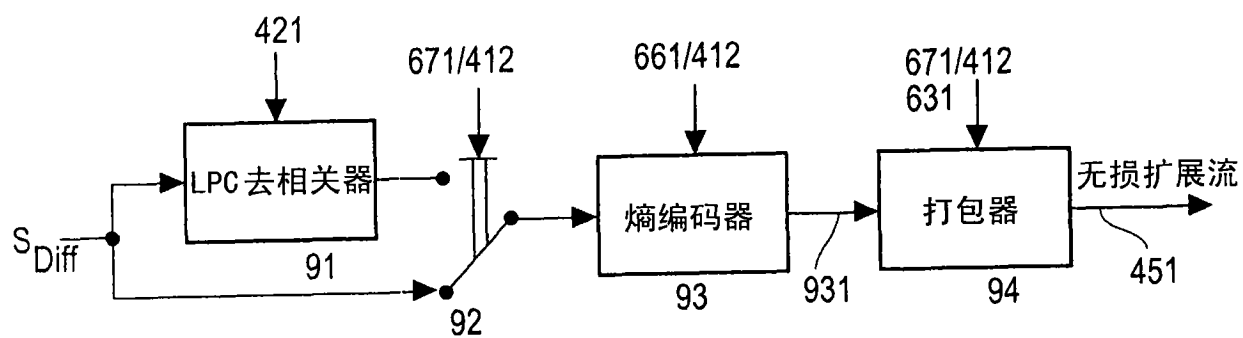


图 9

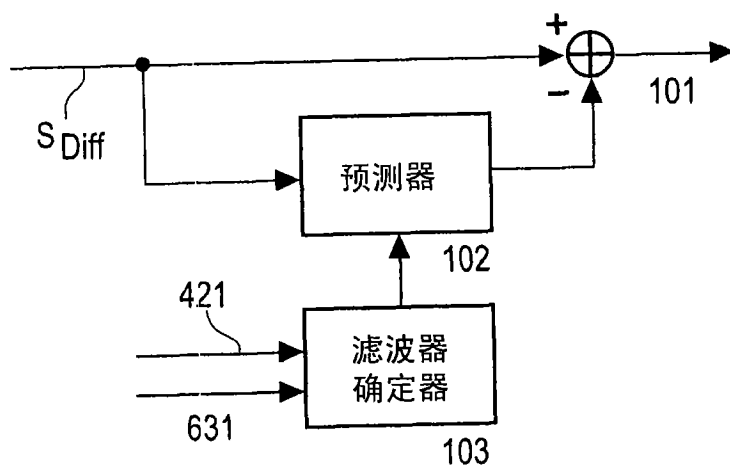


图 10

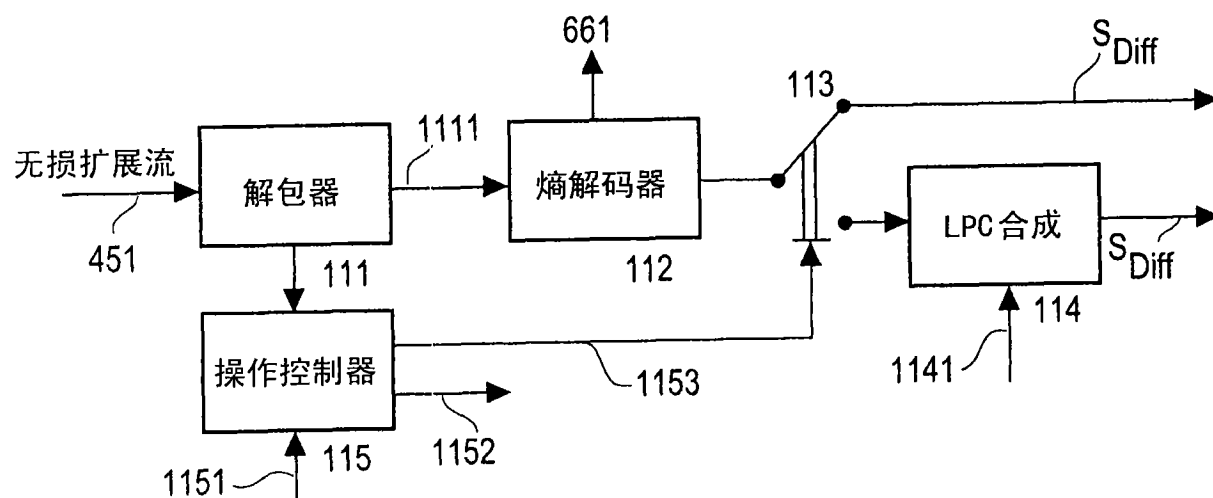


图 11

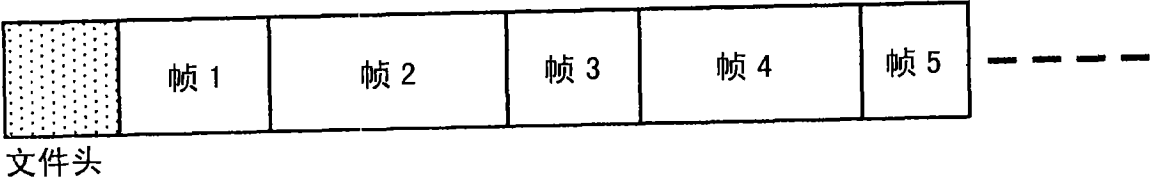


图 12

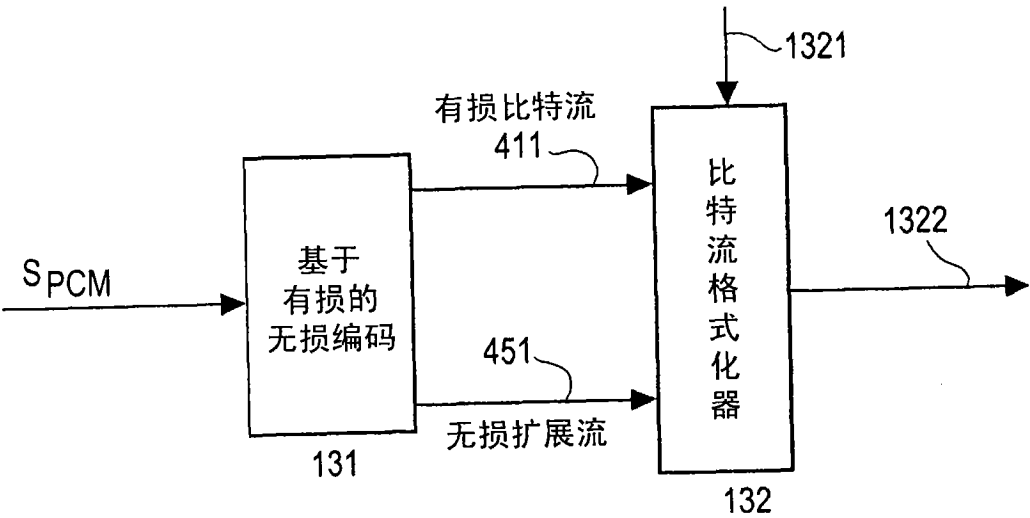


图 13