

[51] Int. Cl.⁷
H04M 9/08



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 00810939.7

[45] 授权公告日 2005 年 5 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 1201553C

[22] 申请日 2000.5.23 [21] 申请号 00810939.7

[30] 优先权

[32] 1999. 5.27 [33] US [31] 09/320,659

[86] 国际申请 PCT/EP2000/004666 2000.5.23

[87] 国际公布 WO2000/074362 英 2000.12.7

[85] 进入国家阶段日期 2002.1.28

[71] 专利权人 艾利森电话股份有限公司

地址 瑞典斯德哥尔摩

[72] 发明人 J·拉斯穆松

审查员 陈 英

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

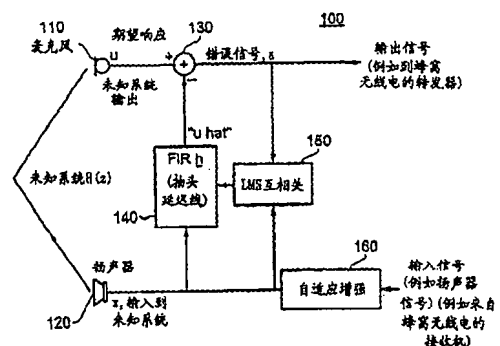
代理人 郑立柱 张志醒

权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 2 页

[54] 发明名称 通过包含隐藏信息来改进自适应滤波器的方法和装置

[57] 摘要

结合了自适应增强信号的自适应滤波算法训练信号具有使自适应滤波算法的收敛与传统算法相比更为快速的属性,例如采样之间的频谱白区和快速衰减的自相关。结合典型自适应增强信号,使得训练信号与传统训练信号相比没有明显的改变。例如,在免提电话应用中,要动态调整根据本发明的自适应增强信号,使其被扬声器信号(传统训练信号)所遮蔽,所以对于免提电话用户来说是听不见的。



1. 一种信号处理设备, 包括
一个自适应滤波器, 配置该自适应滤波器使其对输入信号进行滤波, 从而提供一个滤波后的输出信号, 其中自适应滤波器的滤波特征
5 曲线是根据滤波后的输出信号和训练信号动态调整的; 以及
一个自适应增强处理器, 将自适应增强信号与参考信号结合在一起, 从而为自适应滤波器提供训练信号, 自适应增强信号是根据参考信号动态调整的。
2. 根据权利要求1的信号处理设备, 其中输入信号是近端音频信号,
10 参考信号是远端音频信号。
3. 根据权利要求1的信号处理设备, 其中自适应滤波器是回声消除滤波器, 且其中滤波后的输出信号是消除了回声的近端音频信号。
4. 根据权利要求1的信号处理设备, 其中自适应增强处理器将自适应增强信号与参考信号相加, 为自适应滤波器提供训练信号。
- 15 5. 根据权利要求1的信号处理设备, 其中自适应增强信号是根据动态计算的参考信号遮蔽频率产生的。
6. 根据权利要求1的信号处理设备, 其中自适应增强信号是被参考信号所遮蔽的训练信号的不可闻成分。
7. 根据权利要求6的信号处理设备, 其中自适应增强信号的频率
20 分布与参考信号的遮蔽频率近似匹配。
8. 根据权利要求6的信号处理设备, 其中自适应增强信号是通过用参考信号遮蔽频率对白色伪噪声序列进行滤波而产生的。
9. 根据权利要求6的信号处理设备, 其中自适应增强信号是通过用参考信号遮蔽频率对可重现最大长度序列进行滤波而产生的。
- 25 10. 根据权利要求6的信号处理设备, 其中自适应增强信号是通过先对参考信号音频编码, 然后再音频解码而产生的。
11. 根据权利要求1的信号处理设备, 其中自适应滤波器的滤波特征曲线是根据最小均方(LMS)算法调整的。
12. 一种通信设备, 通过双向通信信道提供近端用户和远端用户
30 之间的双向通信, 包括:
一个近端麦克风, 接收近端声音和提供对应的近端音频信号;
一个自适应回声消除器, 接收近端音频信号并提供消除了回声的

近端音频信号, 通过双向通信信道传输给远端用户, 其中自适应回声消除器的自适应滤波系数是根据消除了回声的近端音频信号和音频训练信号动态调整的;

- 5 一个自适应增强处理器, 通过双向通信信道接收远端音频信号并为自适应回声消除器提供音频训练信号, 其中自适应增强处理器通过将远端音频信号与自适应增强信号结合起来动态计算音频训练信号, 自适应增强信号根据远端音频信号的遮蔽频率动态调整; 以及

一个近端扬声器, 接收音频训练信号并为近端用户提供对应的远端声音。

- 10 13. 根据权利要求 12 的通信设备, 其中自适应增强处理器通过将远端音频信号采样与自适应增强信号相加来动态计算。

14. 根据权利要求 12 的通信设备, 其中自适应增强信号是音频训练信号中的不可闻部分。

- 15 15. 根据权利要求 14 的通信设备, 其中自适应增强信号要进行调整, 使自适应增强信号的频率分布大致跟踪远端音频信号的遮蔽频率。

16. 根据权利要求 14 的通信设备, 其中自适应增强信号是通过用远端音频信号的遮蔽频率对白色伪噪声序列进行滤波而产生的。

- 20 17. 根据权利要求 14 的通信设备, 其中自适应增强信号是通过用远端音频信号的遮蔽频率对可重现最大长度序列进行滤波而产生的。

18. 根据权利要求 14 的通信设备, 其中自适应增强信号是通过先对远端音频信号音频编码, 然后再音频解码而产生的。

19. 根据权利要求 12 的通信设备, 其中自适应回声消除器的滤波系数是根据最小均方 (LMS) 算法调整的。

- 25 20. 一种训练自适应滤波器的方法, 包括下列步骤:

计算参考信号的遮蔽频率;

根据参考信号的遮蔽频率计算自适应增强信号;

根据参考信号和自适应增强信号计算训练信号; 以及

- 30 根据近端回声消除音频信号和训练信号调整自适应滤波器的滤波特征曲线。

21. 根据权利要求 20 的方法, 其中自适应滤波器是一个自适应回声消除滤波器, 且其中的参考信号是一个远端音频信号。

22. 根据权利要求 20 的方法, 其中计算训练信号的步骤包括将自适应增强信号与参考信号相加的步骤。

23. 根据权利要求 20 的方法, 其中自适应增强信号是被参考信号所遮蔽的训练信号的不可闻成分。

5 24. 根据权利要求 23 的方法, 其中计算自适应增强信号的步骤包括使自适应增强信号的频率分布近似于计算的遮蔽频率的步骤。

25. 根据权利要求 23 的方法, 其中自适应增强信号是通过用参考信号的遮蔽频率对白色伪噪声序列进行滤波而产生的。

10 26. 根据权利要求 23 的方法, 其中自适应增强信号是通过用参考信号的遮蔽频率对可重现最大长度序列进行滤波而产生的。

27. 根据权利要求 23 的方法, 其中自适应增强信号是通过先音频编码, 然后音频解码参考信号而产生的。

28. 根据权利要求 20 的方法, 其中自适应滤波器的滤波特征曲线根据最小均方 (LMS) 算法调整。

15

通过包含隐藏信息来改进自
适应滤波器的方法和装置

5 技术领域

本发明涉及通信系统，更特别涉及通信系统中声频信号的自适应滤波。

背景技术

10 在当今的通信系统中普遍使用了自适应滤波装置。此类装置典型用于减少或去除不想要的信号成分和/或控制或增强想要的信号成分。

此类滤波装置常见的例子涉及免提电话，其中传统电话听筒的内置耳机和麦克风分别由外接扬声器和外接麦克风所替代，因此电话用户
15 可以不用手持电话装置就可以通话。由于外接扬声器发出的声音会被外接麦克风拾取，所以为了防止扬声器输出回声并干扰位于通话另一端的远端用户，普遍进行了自适应滤波。这种自适应滤波或回声消除成为当今全双工、免提通信设备的基本特征。

实现回声消除的典型方法是使扬声器信号通过一个近似或仿效免提扬声器与免提麦克风之间的回声路径（举例来说，汽车免提电话应用
20 中的驾驶室）的自适应有限脉冲响应（FIR）滤波器。因此FIR滤波器提供了一个回声估计，可以在麦克风输出信号传输到远端用户之前消除它。自适应FIR滤波器的滤波特征曲线（也就是FIR系数集）是根据扬声器输入和消除了回声的麦克风输出两者动态、连续调整的，以提供对回声路径的精确近似和跟踪回声路径的变化（举例来说，当
25 汽车免提电话的近端用户改变了其在驾驶室内的位置时）。

滤波特征曲线的调整通常是使用已知的最小均方（LMS）自适应算法来完成，该算法是由Widrow和Hoff在1960年提出的。LMS算法是最小平方随机梯度步进方法，由于该方法有效且稳定，所以常常用在很多实时应用中。但是LMS算法及其已知变形（例如归一化LMS或
30 NLMS算法）有一些缺陷。例如，LMS算法有时会收敛（也就是逼近目标滤波特征曲线，如免提电话应用中的声回声路径）缓慢，特别是当基于非白色或有色输入信号来适应或训练算法的时候。

由于训练信号（即扬声器信号）包括人的语音，而人的语音，特别是对浊音（元音声）来说，只会激励全部可能信号空间的很小一部分，且具有缓慢衰减的自相关属性，所以缓慢的 LMS 适应是免提电话环境中的一个特殊问题。此外，近端的背景噪声（例如汽车驾驶室和公路的噪声）会干扰并进一步延缓 LMS 适应进程。所以在免提电话和其它环境中需要改进自适应滤波技术。

发明内容

本发明通过提供快速收敛自适应滤波算法来满足上述和其它的需求。根据典型实施方案，传统自适应算法的收敛速度是通过将自适应增强信号与传统算法训练信号结合起来形成一个增强的或最优的训练信号来得到提高的。选取的自适应增强信号要具有使自适应算法收敛速度更快的属性（举例来说，采样之间的光谱白区和快速衰落的自相关）。有利的是自适应增强信号可以与传统训练信号结合，这样增强训练信号不会与传统训练信号有明显的不同。例如，在免提电话环境中，可以定制自适应增强信号使其可以被扬声器信号遮蔽（即传统训练信号），从而对于电话用户来说是听不见的。

根据本发明的典型信号处理设备包括一个自适应滤波器，配置该滤波器，使其对输入信号进行滤波，从而提供一个滤波后的输出信号的，自适应滤波器的滤波特征曲线可以根据滤波后的输出信号和训练信号进行动态调整。典型信号处理设备还包括一个自适应增强处理器，用于将自适应增强信号与参考信号结合起来提供训练信号，自适应增强信号根据参考信号动态调整。有利的是自适应增强信号可以是参考信号遮蔽的训练信号的不可闻部分。例如，自适应增强信号可以通过用参考信号的遮蔽频率对白色伪噪声序列或可重现最大长度序列进行滤波来产生。自适应增强信号还可以通过对参考信号先音频编码，然后再音频解码来产生。

根据本发明的一种通信设备，通过双向通信信道提供近端用户和远端用户之间的双向通信，包括：一个近端麦克风，接收近端声音并提供对应的近端音频信号；一个自适应回声消除器，接收近端音频信号并提供消除了回声的近端音频信号，通过通信信道传输给远端用户，其中自适应回声消除器的自适应滤波器系数是根据消除了回声的近端音频信号和音频训练信号动态调整的；一个自适应增强处理器，

通过通信信道接收远端音频信号并为自适应滤波器提供音频训练信号，其中自适应增强处理器通过将远端音频信号与自适应增强信号结合起来动态计算音频训练信号，自适应增强信号根据远端音频信号的遮蔽频率动态调整；以及一个近端扬声器，接收音频训练信号并为近端

5 用户提供对应的远端声音。

根据本发明的典型方法包括下列步骤：计算参考信号的遮蔽频率，根据参考信号遮蔽频率计算自适应增强信号，根据参考信号和自适应增强信号计算训练信号和根据训练信号计算自适应滤波器的特征曲线。同上面一样，自适应增强信号可以是训练信号中被参考信号遮蔽的听不见的部分。例如，计算自适应增强信号的步骤可以包括用参

10 考信号的遮蔽频率对白色伪噪声序列或可重现最大长度序列进行滤波的步骤。计算自适应增强信号的步骤还可以包括先对参考信号进行音频编码，然后再对参考信号进行音频解码的步骤。

下面将结合在附图中举例说明的例子详细解释本发明的上述和它的特性和优点。令那些本领域中的熟练人员欣赏的是，所讲述的实施方案是出于举例说明和理解的目的而给出的，在这里可以构思很多等效实施方案。

15

附图说明

图 1 是实现了本发明自适应增强技术的典型免提电话系统的方框图。

20 图。

图 2 是描述与单声调对应的典型瞬时遮蔽频率的光谱曲线。

图 3 是根据本发明的典型自适应增强处理器的方框图。

图 4 是另一种根据本发明的自适应增强处理器的方框图。

具体实施方式

图 1 描述的是应用了根据本发明的自适应增强技术的典型免提电话系统 100 的方框图。如图所示，典型系统 100 包括麦克风 110、扬声器 120、加法器 130、有限脉冲响应 (FIR) 滤波器 140、最小均方 (LMS) 互相关器 150 和自适应增强处理器 160。令那些本领域中的熟练人员欣赏的是，下面讲述的、在图 1 中描述的组件的功能性可以使用已知的数字信号处理硬件和/或通用数字计算机来实现。还令那些本

25

30 领域中的熟练人员欣赏的是，典型系统 100 实际上包括的从图 1 中忽略的组件（例如，麦克风 110 输出端的模数转换器和扬声器 120 输入

端的数模转换器)对于理解本发明而言是不重要的。

在工作时,包含远端用户(没有显示)语音的远端音频信号输入到为近端用户(也没有显示)发声的扬声器120。然后扬声器的输出通过未知的和时变的回声路径,如图1中可变传递函数 $H(z)$ 所示,回声返回到麦克风110。因此,麦克风110的音频输出包括扬声器回声、近端用户语音和近端背景噪声。为了防止扬声器回声到达并干扰远端用户, FIR 滤波器140对扬声器输出进行滤波,提供一个由麦克风110接收的扬声器回声的估计,再通过加法器130从麦克风输出中减去得到的估计。然后将加法器130得到的、消除回声的输出传输到远端用户,并反馈回 LMS 互相关器150用于自适应 FIR 滤波器140的滤波器系数或抽头,这样它们会沿着真实的回声路径 $H(z)$ 收敛。LMS 互相关器150在技术中是已知的,它根据消除回声的输出信号,或错误信号,和扬声器输入信号,或训练信号,两者来计算滤波器系数校正。

在传统系统中,远端音频信号直接传递给为近端用户发声的扬声器,数字化的远端音频信号直接用作改善回声估计的训练或参考信号(即数字化远端音频直接输入 FIR 滤波器140和 LMS 互相关器150)。结果如上所述,使 FIR 滤波器140的滤波器系数沿着真实的回声路径 $H(z)$ 缓慢收敛。换句话说,由于远端用户语音具有缓慢衰减的自相关属性并只激励全部可能信号空间的很小一部分,所以用远端音频信号训练基于 LMS 的算法并不理想。

但是,根据本发明,远端音频信号不是直接用作 LMS 处理的训练信号。相反,自适应增强处理器160将远端音频信号用作改善自适应增强信号(即属性更适合训练自适应算法的信号)的参考,该信号与远端音频信号结合,得到一个最优的自适应增强训练信号。有利的是,最优训练信号和远端音频参考信号(即传统训练信号)之间的区别可以做到对人耳而言是察觉不到的。更特别的是,可以定制自适应增强信号,使其被远端音频信号遮蔽,从而对近端用户而言是听不见的。结果从近端用户的角度来看,在不影响系统性能的情况下达到了自适应增强。

为了使听远端音频信号的近端用户察觉不到自适应增强信号,使用了已知的人类听觉机理的遮蔽属性。更特别的是实时计算远端音频信号的动态遮蔽频率,并根据遮蔽频率动态调整自适应增强信号,从

而使自适应增强信号保持是听不见的。换句话说，要不停的调整自适应增强信号，使其有效的被远端音频信号隐藏。

图 2 中描述了一个信号被另一个信号遮蔽的情况。在图中显示了单音信号 230 的瞬时遮蔽频率 210。瞬时遮蔽频率 210 定义了一个被单音 230 遮蔽（也就是使其不可闻）的瞬时区域 220。换句话说，所有频谱成分位于区域 220 之内的信号不会被听到音调 230 的人耳发现。实际上音频信号的遮蔽频率是动态且时变的，令那些本领域中的熟练人员欣赏的是，瞬时遮蔽 210 只及时应用在固定的时刻。

在 Zwicker 和 Fastl 的“心理声学、事实和模型”，Springer, Heidelberg, 1990 中讲述了人类听觉机理的遮蔽属性。此外，在著名的运动图像专家组（MPEG）颁布的定义中详细讲述了实时动态计算音频信号遮蔽频率的算法。例如，请参看 K. Brandenburg 和 Marini Bosi 的“MPEG-音频的总揽：用于低位率音频编码的目前标准和未来标准”，99th, AES, 纽约，十月，6-9 1995, Preprint #4130 (29 页)，和 Nikil Jayant、James Johnston 和 Robert Safranek 的“基于人类感觉模型的信号压缩”，IEEE 学报，October 1993, 卷 81, 号码 10, pp. 1385-1421, 每一个都在这里参考引用了。

例如，在 MPEG 音频编码器中使用了此类算法来减少重现感兴趣信号所需的比特率。换句话说，使用了遮蔽频率算法来确定信号的哪一部分可以去除而不使听得见的信号失真。通过对比，在本发明的环境中使用了动态遮蔽频率算法来确定自适应增强信号的频率分布。换句话说，给定远端音频信号的动态遮蔽频率，实时的构造自适应增强信号，使其频谱成分完成位于不可闻区域之内（即位于被远端音频信号遮蔽的区域内）。例如，可以调整自适应增强信号，使其光谱分布近似于动态计算的遮蔽频率。

根据远端音频信号遮蔽频率产生自适应增强信号可以使用很多的方法来完成。例如，具有促进自适应算法快速收敛属性的模拟信号（例如，样本之间光谱白区和快速衰减或不存在自相关）可以使用远端音频遮蔽频率进行滤波以提供自适应增强信号。

典型模拟信号包括白色伪噪声（PN）信号和可重现最大长度序列（MLS）信号。实时产生这些信号的方法是已知的。例如在高保真音响设备的频率和房间响声的实时测试中经常使用白噪声和 MLS 信号。有

利的是，当得到的自适应增强信号与远端音频信号组合时（例如相加），得到的最优序列信号使 FIR 滤波器 140 的滤波特征曲线收敛更为快速，同时近端用户保持察觉不到自适应增强信号的存在。

图 3 描述了一个以上述方式生成增强的自适应算法训练信号的典型处理器 300。例如，典型处理器 300 可以用于实现图 1 的自适应增强处理器。如图所示，典型处理器 300 包括遮蔽频率计算处理器 310、伪噪声发生器 320、遮蔽频率滤波器 330 和加法器 340。令那些本领域中的熟练人员欣赏的是，下面讲述的、在图 3 中描述的组件的功能性可以使用很多已有的硬件配置来实现，包括标准数字信号处理组件、通用数字计算机和/或一个或多个特定用途集成电路（ASIC）。

在图 3 中，参考信号（例如远端音频信号）耦合到遮蔽频率计算处理器 310 的输入和加法器 340 的第一加输入。另外，遮蔽频率计算处理器 310 的输出耦合到遮蔽频率滤波器 330 的控制输入，伪噪声产生器 320 的输出耦合到遮蔽频率滤波器 330 的音频输入。此外，遮蔽频率滤波器 330 的音频输出耦合到加法器 340 的第二加输入，加法器 330 的输出用作自适应增强训练信号（例如，用作图 1 的自适应滤波器 140 和 LMS 互相关器 150 的输入）。

在工作时，遮蔽频率计算处理器 310 计算远端音频信号的动态遮蔽频率（例如每个远端音频信号采样块一次）。如上所述，遮蔽频率是使用任意合适的算法计算的，例如在上面引用的 MPEG 文档中讲述的算法。然后使用得到的遮蔽频率来校正遮蔽频率滤波器 330 的滤波传递函数。

同时，发生器 320 为遮蔽频率滤波器 330 的音频输入提供一个模拟信号（例如伪白噪声序列或最大长度序列），滤波器 330 处理模拟信号以提供一个滤波后的模拟信号，该信号与远端音频信号相加（通过加法器 340）以提供增强的自适应算法参考信号。如上所述，相加的信号成分促进了消除了回声的自适应滤波器（例如图 1 的滤波器 130）的快速收敛，且对于近端用户而言是听不见的。

令那些本领域中的熟练人员欣赏的是，通过遮蔽频率滤波器 330 执行的滤波可以在频域或时域进行。在优选使用频域滤波（即通过将滤波器 330 的频域系数集与模拟信号采样块的频域表述进行矢量相乘来滤波）的应用中，滤波器 330 可以通过周期性的（例如每个采样块

一次)将从遮蔽频率计算得到的频谱值直接拷贝到滤波器 330 来校正。另一种做法是,在优选使用时域滤波(即通过用遮蔽频率滤波器 330 的时域系数对模拟信号采样进行采样卷积来滤波)的应用中,滤波器 330 可以通过将从遮蔽频率计算得到的频谱值转换到时域(例如,使用逆快速傅立叶变换或 IFFT),然后将得到的时域系数拷贝到滤波器 330 来校正。在时域和频域滤波之间进行选择是设计选择的事情。

图 4 描述了根据远端音频信号的遮蔽频率产生自适应增强信号的另一种系统 400。与图 3 中的处理器 300 一样,可以使用另一种处理器 400,例如,来实现图 1 中的自适应增强处理器 160。如图所示,另一种处理器 400 包括 MPEG 音频编码器 410 和 MPEG 音频解码器 420。令那些本领域中的熟练人员欣赏的是,下面讲述的图 4 组件的功能性可以使用很多已有的硬件配置来实现,包括标准数字信号处理组件、通用数字计算机和/或一个或多个特定用途集成电路(ASIC)。

在图 4 中,参考信号(例如远端音频信号)耦合到音频编码器 410 的输入,音频编码器 410 的输出耦合到音频解码器 420 的输入。音频解码器 420 的输出用作自适应增强训练信号(例如用于图 1 中自适应滤波器 140 和 LMS 互相关器 150 的输入)。

在工作时,音频编码器 410 对远端音频信号进行编码(例如,使用在上面引用的 MPEG 文档中讲述的 MPEG 编码算法),音频解码器 420 立即对得到的信号进行解码(例如,使用在上面引用的 MPEG 文档中讲述的互补 MPEG 解码算法),以提供自适应增强参考信号。由于 MPEG 音频编码器使用很少的位来编码远端音频信号中的不可闻信息,所以极大的量化了不可闻信息,按期望引入了不可闻的量化噪声。与使用图 3 的处理器 300 一样,引入到图 4 中远端音频信号中的信号成分促进了消除了回声的自适应滤波器(例如图 1 的滤波器 130)快速收敛,且对于近端用户而言是听不见的。

一般来说,本发明提供了提高自适应滤波算法收敛速度的方法和装置。根据典型实施方案,自适应算法的收敛速度是通过将自适应增强信号与传统算法训练信号结合起来以提供一个增强的或最优的训练信号来提高的。构造的自适应增强信号要具有使自适应算法收敛更为快速的属性(例如,样本之间的频谱白区和快速衰减的自相关)。有利的是,自适应增强信号可以与传统训练信号结合,使得增强的训练

信号不会与传统训练信号有明显的不同。例如，在免提电话环境中，可以定制自适应增强信号使其被扬声器信号（即传统训练信号）遮蔽，从而对电话用户而言是听不见的。

- 令那些本领域中的熟练人员欣赏的是，本发明不限于这里出于举
- 5 例说明的目的而讲述的特定典型实施方案，还可构思很多其它的实施方案。例如，虽然已经讲述的典型实施方案是关于免提电话环境中声
- 回声消除的，但提出的自适应增强技术同样可应用于所有的自适应滤波装置（例如，自适应噪声抑制和网络回声消除）。此外，提出的遮蔽
- 10 方法也可以使用，例如用于传输为感兴趣的听得见的信号，例如语音或音乐，所掩盖的不可闻数据。因此本发明的范围是通过此处附加的权利要求，而不是前面的讲述来定义的，其中打算包括所有与权利要求含义一致的对等物。

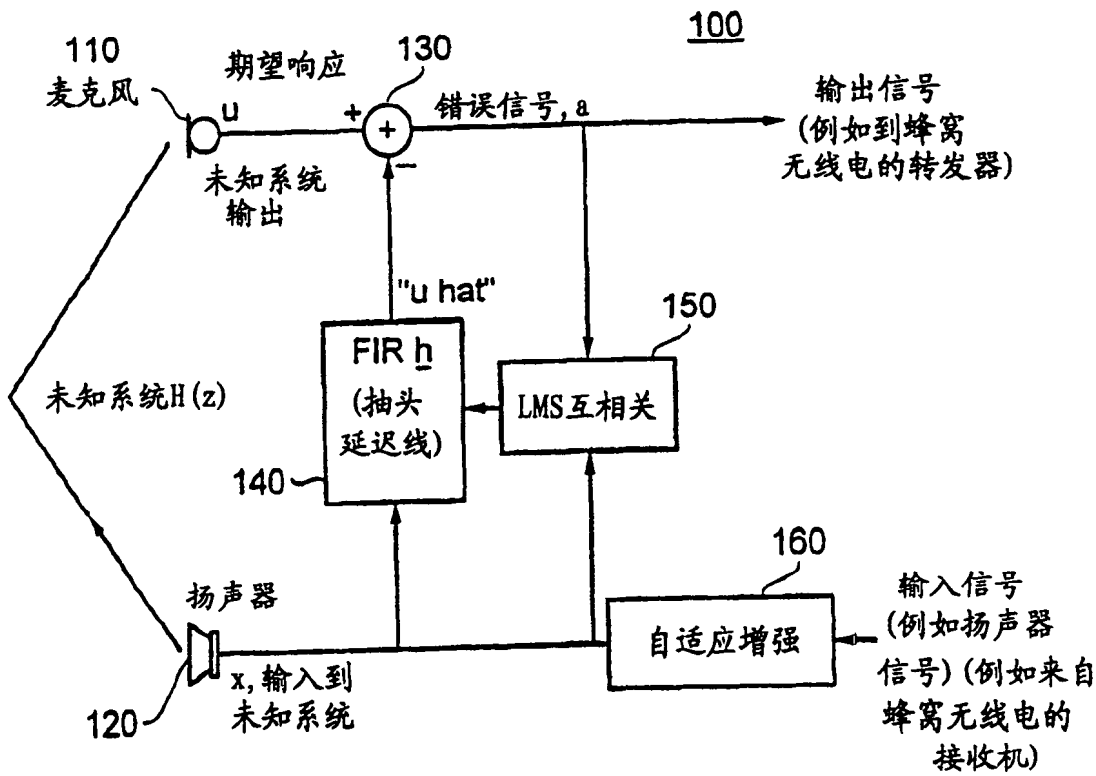


图 1

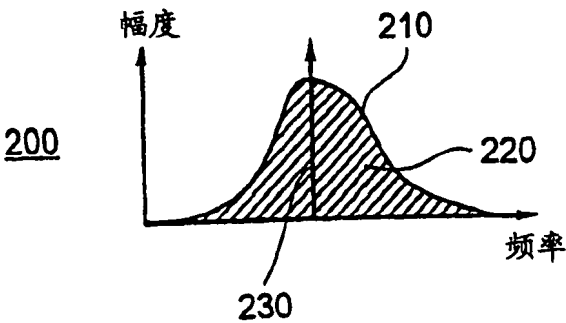


图 2

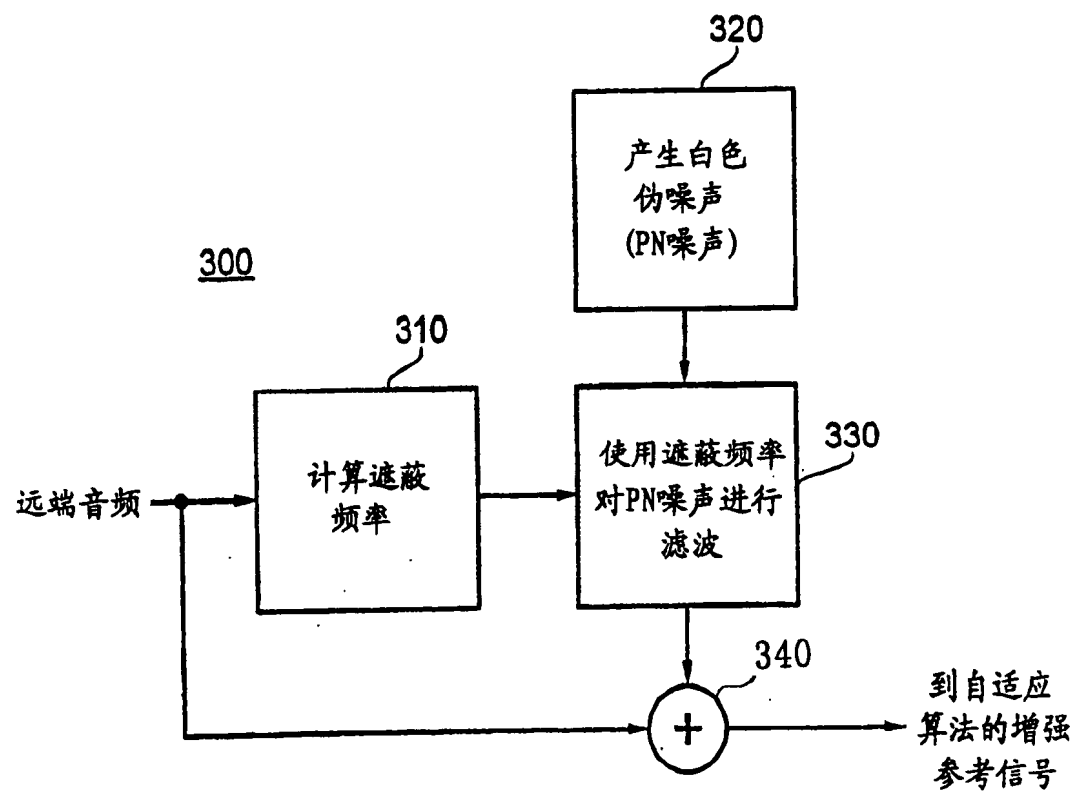


图 3

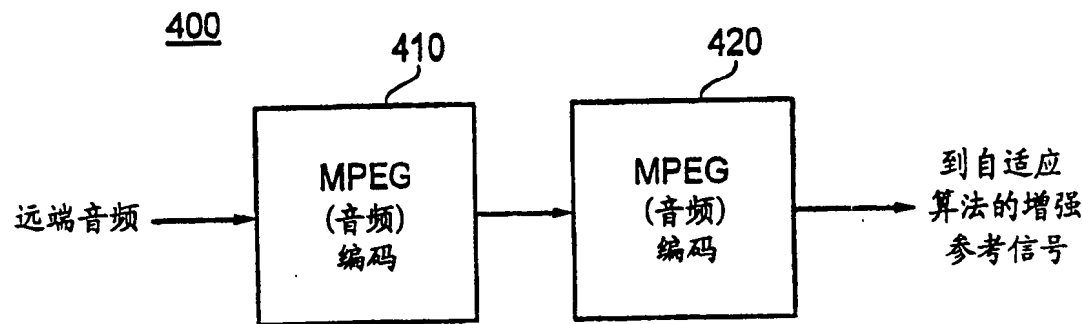


图 4