



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1810019 B

(45) 授权公告日 2010.06.02

(21) 申请号 200480017297.7

(22) 申请日 2004.06.24

(30) 优先权数据

10/608,785 2003.06.27 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2005.12.20

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IB2004/002008 2004.06.24

(87) PCT申请的公布数据

W02005/002183 EN 2005.01.06

(73) 专利权人 诺基亚有限公司

地址 芬兰埃斯波

(72) 发明人 G·恩兹纳

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华 赵林琳

(51) Int. Cl.

H04M 9/08 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1292617 A, 2001.04.25, 全文.

CN 1332911 A, 2002.01.23, 全文.

US 6160886 A, 2000.12.12, 全文.

WO 02/03563 A1, 2002.01.10, 全文.

EP 0854626 A1, 1998.07.22, 全文.

WO 97/49196 A2, 1997.12.24, 全文.

US 5687229 A, 1997.11.11, 全文.

审查员 张迎新

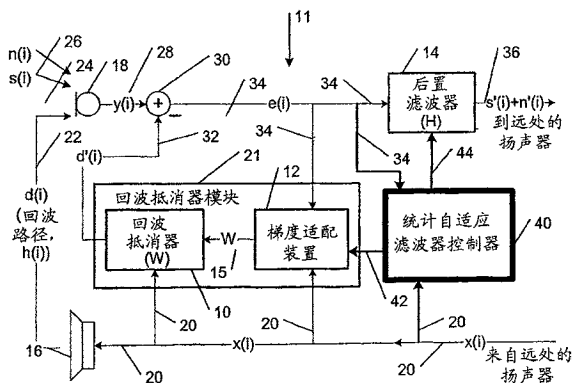
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

统计自适应滤波器控制器

(57) 摘要

本发明描述了在免提电话中用于数字回声控制的一种统计自适应滤波器控制器,以便取得更一致的回波抵消结果(即,更高的输出信号质量)和更简单的AEC单元的实现方案。通过最佳化回波抵消器和后置滤波器的联合控制,完成使用简单的统计自适应滤波器控制器的改进。



1. 一种回波抵消系统,包括:

话筒,用于响应来自扬声器的回波信号而提供作为话筒信号的一个分量的回波信号,该扬声器响应于话音信号而提供声音输出信号;以及

统计自适应滤波器控制器,用于响应该话音信号和一回波减小的话筒信号而提供第一控制信号到回波抵消器模块以及提供第二控制信号到后置滤波器,其中所述第一和第二控制信号由所述统计自适应滤波器控制器来联合地确定并被提供用于在频域中最佳化回波信号的抵消,以及该第一控制信号是步长信号,它被使用来按照预定的准则去确定被提供到回波抵消器模块的回波抵消器的回波转移函数信号的梯度改变,

该第一控制信号按照下式确定:

$$\mu(k) = \frac{|G'|^2 \Phi_{xx}(k)}{\Phi_{ee}(k)},$$

其中 $|G'|^2$ 是预定的常数,以及 $\Phi_{xx}(k)$ 和 $\Phi_{ee}(k)$ 分别表示所述话音信号和回波减小的话筒信号的功率谱密度信号,而 k 是帧时间索引。

2. 权利要求 1 的回波抵消系统,其中第二控制信号是后置滤波器的另一个转移函数信号,所述另一个转移函数信号对回波减小的话筒信号进行加权。

3. 权利要求 1 的回波抵消系统,还包括后置滤波器,用于响应一回波减小的话筒信号和该第二控制信号而提供输出系统信号。

4. 权利要求 1 的回波抵消系统,还包括回波抵消器模块,用于响应该话音信号、第一控制信号和一回波减小的话筒信号而提供估计的回波信号到加法器。

5. 权利要求 4 的回波抵消系统,其中回波抵消器模块包括回波抵消器,用于响应该话音信号和一回波转移函数信号而提供估计的回波信号到加法器。

6. 权利要求 4 的回波抵消系统,其中回波抵消器模块包括梯度适配装置,用于响应该话音信号和第一控制信号而提供一回波转移函数信号到回波抵消器。

7. 权利要求 4 的回波抵消系统,还包括后置滤波器,用于响应一回波减小的话筒信号和该第二控制信号而提供输出系统信号。

8. 权利要求 1 的回波抵消系统,还包括加法器,用于响应话筒信号和一估计的回波信号而提供回波减小的话筒信号。

9. 权利要求 1 的回波抵消系统,其中统计自适应滤波器控制器、回波抵消器模块和后置滤波器在频域中运行,以及所述第一和第二控制信号也在频域中提供。

10. 权利要求 9 的回波抵消系统,其中频域被实施为离散傅立叶变换域。

11. 权利要求 10 的回波抵消系统,其中统计自适应滤波器控制器还包括:

第一功率谱密度装置,用于响应该话音信号而提供话音信号的第一功率谱密度信号;

第二功率谱密度装置,用于响应一回波减小的话筒信号而提供该回波减小的话筒信号的第二功率谱密度信号;以及

统计自适应滤波器估计器,用于响应该第一和第二功率谱密度信号而提供第一和第二控制信号。

12. 权利要求 1 的回波抵消系统,其中第二控制信号是后置滤波器的另一个转移函数信号,所述另一个转移函数信号对回波减小的话筒信号进行加权以及它按照下式确定:

$$H(k) = \frac{\Phi_{ee}(k) - |G(k)|^2 \Phi_{xx}(k)}{\Phi_{ee}(k)},$$

其中剩余回波功率转移函数 $|G(k)|^2$ 通过求解以下差分方程确定： $|G(k+1)|^2 = |G(k)|^2(1-2\mu(k)) + \mu(k)|G'|^2$ 。

13. 一种回波抵消系统,包括:

话筒,用于响应来自扬声器的回波信号而提供作为话筒信号(28)的一个分量的回波信号,该扬声器响应于话音信号而提供声音输出信号;以及

统计自适应滤波器控制器,用于响应该话音信号和一回波减小的话筒信号而提供第一控制信号到回波抵消器模块以及提供第二控制信号到后置滤波器,其中回波抵消器模块在时域中运行,且后置滤波器在频域中运行,以及分别地,第一控制信号在时域中提供和第二控制信号在频域中提供。

14. 一种用于回声控制的方法,包括以下步骤:

响应来自扬声器的回波信号而提供作为话筒的话筒信号的一个分量的回波信号,该扬声器响应于话音信号而提供声音输出信号;以及

由统计自适应滤波器控制器响应该话音信号和一回波减小的话筒信号而提供第一控制信号到回波抵消器模块和提供第二控制信号到后置滤波器,

其中所述第一和第二控制信号由所述统计自适应滤波器控制器来联合地确定并被提供用于在频域中最佳化回波信号的抵消,以及该第一控制信号是步长信号,它被使用来按照预定的准则去确定被提供到回波抵消器模块的回波抵消器的回波转移函数信号的梯度改变,

该第一控制信号按照下式确定:

$$\mu(k) = \frac{|G'|^2 \Phi_{xx}(k)}{\Phi_{ee}(k)},$$

其中 $|G'|^2$ 是预定的常数,以及 $\Phi_{xx}(k)$ 和 $\Phi_{ee}(k)$ 分别表示所述话音信号和回波减小的话筒信号的功率谱密度信号,而 k 是帧时间索引。

15. 权利要求 14 的方法,其中第二控制信号是后置滤波器的另一个转移函数信号,所述另一个转移函数信号对回波减小的话筒信号进行加权。

16. 权利要求 14 的方法,在提供第一和第二控制信号的步骤之前,还包括以下步骤:

由统计自适应滤波器控制器确定第一和第二控制信号。

17. 权利要求 16 的方法,还包括以下步骤:

由回波抵消器模块使用由统计自适应滤波器控制器提供的第一控制信号来确定估计的回波信号;以及

由加法器通过把估计的回波信号加到话筒信号而确定回波减小的话筒信号。

18. 权利要求 17 的方法,还包括以下步骤:

由后置滤波器使用由统计自适应滤波器控制器提供的第二控制信号来确定输出系统信号。

19. 一种回波抵消系统,包括:

话筒,用于响应来自扬声器的回波信号而提供作为话筒信号的一个分量的回波信号,该扬声器响应于话音信号而提供声音输出信号;以及

统计自适应滤波器控制器,用于响应该话音信号和一回波减小的话筒信号而提供第一控制信号到回波抵消器模块以及提供第二控制信号到后置滤波器,其中所述第一和第二控制信号被提供用于在频域中最佳化回波信号的抵消,以及其中 $|G(k)|^2$ 相应于剩余回波脉冲响应 $g(i) = h(i) - w(i)$,其中 $h(i)$ 和 $w(i)$ 分别是回声路径的脉冲响应和所述回波抵消器模块的回波抵消器的脉冲响应,该剩余回波功率转移函数 $|G(k)|^2$ 通过求解以下差分方程而确定:

$$|G(k+1)|^2 = |G(k)|^2(1 - 2\mu(k)) + \mu(k)|G'|^2,$$

其中 $|G'|^2$ 是预定的常数, $\mu(k)$ 是第一控制信号,而 k 是帧时间索引。

统计自适应滤波器控制器

技术领域

[0001] 本发明总的涉及电话中的数字回声控制 (AEC), 更具体地涉及引入附加的统计自适应滤波器控制器, 以便得到比以前更一致的回波抵消结果 (即, 更高的输出信号质量) 和 AEC 单元的更简单的实现方案。

背景技术

[0002] 本发明涉及电话的数字回声控制 (AEC) 单元。AEC 的用途是防止远端讲话人的语音在从近端电话用户的扬声器发出并部分被电话的话筒拾取后作为回波而循环返回。总的概念显示于图 1, 其中“i”表示采样时间索引。先进的 AEC 单元包含: 回波抵消器模块 21, 其通常由回波抵消器 10 与梯度适配装置 12 组成, 和用于剩余回波抑制的后置滤波器 14。

[0003] 在免提电话中需要 AEC 单元基本上是由从本地扬声器 16 到本地话筒 18 的、具有脉冲响应 $h(i)$ 的回声路径引起的。具有脉冲响应 $w(i)$ 的回波抵消器 10 的目的是找到回波路径的复制品, 以便补偿由扬声器 16 接收的话音信号 $x(i)$ 20 的回波信号 $d(i)$ 22, 扬声器 16 响应话音信号 $x(i)$ 20 而提供声音输出信号, 因此在话筒 18 中生成回波信号 $d(i)$ 22, 它是话筒信号 $y(i) = d(i) + s(i) + n(i)$ 28 的其中一个分量, 其中 $s(i)$ 24 是话筒语音信号而 $n(i)$ 26 是背景噪声信号。由于系统识别过程总是在存在观察噪声 (本地语音加背景噪声) $s(i) + n(i)$ 的条件下执行的, 所以不能精确地达到 $w(i) = h(i)$ 的目标。回波抵消器 10 生成估计的回波信号 $d'(i)$ 32, 它由加法器 30 负地加到话筒信号 18 上, 生成包含被部分补偿的回波信号的回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34。回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34 还被提供到梯度适配装置 12 和后置滤波器 14。梯度适配装置 12 还通过使用话音信号 $x(i)$ 20 和回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34 作为输入信号而基于预定的准则来确定控制信号的梯度, 从而提供控制信号 15 到回波抵消器 10。后置滤波器 14 的用途是进一步减小回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34 的剩余回波分量。然后将在由后置滤波器 14 进行剩余回波抑制后最后得到的输出系统信号 $s'(i) + n'(i)$ 发送到远处的扬声器。

[0004] 如何生成和控制回波抵消器 10 以及后置滤波器 14 的基本原理是熟知的。然而, 在以最佳方式有效地控制它们方面存在某些问题。整个控制问题的关键变量是剩余回波 $b(i) = d(i) - d'(i)$, 不幸地是, 由于它被固有地嵌入到回波减小的话筒信号 $e(i) = b(i) + s(i) + n(i)$ 34 中, 所以它不能被直接确定。

[0005] 图 1 的回波抵消器模块 21 常常提供回波信号 $d(i)$ 22 的不充分的估计 $d'(i)$ 。在电话的发送路径中的后置滤波器 14 执行剩余回波抑制, 但在许多解决方案中这是以有用信号 $s(i) + n(i)$ 的失真 (衰减) 为代价达到的。在替换的解决方案中, 可以单独使用回波抵消器模块 21 而不用后置滤波器 14。这个方法没有引入显著的信号失真, 但通常需要非常复杂的、用于回波抵消器的控制机制。因此需要一种更加简单的和有效的方法。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一个附加的统计自适应滤波器控制器, 用于取得更一致的回

波抵消结果和更简单地实行电话中的回声控制。

[0007] 按照本发明的第一方面,回波抵消系统包括话筒,用于响应来自扬声器的回波信号而提供作为话筒信号的一个分量的回波信号,该扬声器响应于话音信号而提供声音输出信号;以及统计自适应滤波器控制器,用于响应话音信号和回波减小的话筒信号而提供第一控制信号到回波抵消器模块和提供第二控制信号到后置滤波器;所述控制信号被提供用于使回波信号的抵消最佳化。

[0008] 还按照本发明的第一方面,第一控制信号可以是步长信号,它被用来按照预定的准则而确定被提供到回波抵消器模块的回波抵消器的回波转移函数信号的梯度改变。

[0009] 再按照本发明的第一方面,第二控制信号可以是后置滤波器的另一个转移函数信号,所述另一个转移函数信号对回波减小的话筒信号进行加权。

[0010] 再按照本发明的第一方面,回波抵消系统还包括后置滤波器,用于响应回波减小的话筒信号和第二控制信号而提供输出系统信号。

[0011] 又按照本发明的第一方面,回波抵消系统还包括回波抵消器模块,用于响应话音信号、第一控制信号和回波减小的话筒信号,提供估计的回波信号到加法器。而且,回波抵消系统可包括回波抵消器,用于响应于话音信号和回波转移函数信号,提供估计的回波信号到加法器。再者,回波抵消系统可包括梯度适配装置,用于响应话音信号和第一控制信号,提供回波转移函数信号到回波抵消器。另外,包括回波抵消器模块的回波抵消系统还包括后置滤波器,用于响应回波减小的话筒信号和第二控制信号而提供输出系统信号。

[0012] 再按照本发明的第一方面,回波抵消系统还包括加法器,用于响应话筒信号和估计的回波信号而提供回波减小的话筒信号。

[0013] 又按照本发明的第一方面,统计自适应滤波器控制器、回波抵消器模块和后置滤波器可以在时域或频域中运行,以及所述第一和第二控制信号分别在时域或频域中被提供。

[0014] 再按照本发明的第一方面,统计自适应滤波器控制器和回波抵消器模块在时域中运行,后置滤波器在频域中运行,以及所述第一控制信号在时域和第二控制信号在频域中被分别提供。

[0015] 还按照本发明的第一方面,统计自适应滤波器控制器、回波抵消器模块和后置滤波器在频域中运行,以及所述第一和第二控制信号也在频域中被提供,其中所述频域被实施为离散富立叶变换(DFT)域。而且,在DFT域中被实施的统计自适应滤波器控制器可包括:第一功率谱密度装置,响应话音信号而提供话音信号的第一功率谱密度信号;第二功率谱密度装置,响应回波减小的话筒信号而提供回波减小的话筒信号的第二功率谱密度信号;以及统计自适应滤波器估计器,响应第一和第二功率谱密度信号而提供第一和第二控制信号。另外,给出计算步长信号作为第一控制信号和另一个转移函数信号作为第二控制信号的例子。

[0016] 按照本发明的第二方面,一种用于回声控制的方法包括以下步骤:响应来自扬声器的回波信号而提供作为话筒的话筒信号的一个分量的回波信号,该扬声器响应于话音信号而提供声音输出信号;以及响应话音信号和回波减小的话筒信号而通过统计自适应滤波器控制器提供第一控制信号到回波抵消器模块和提供第二控制信号到后置滤波器,用以使回波信号的回波抵消最佳化。

[0017] 还按照本发明的第二方面,第一控制信号可以是步长信号,它被用来按照预定的准则去确定被提供到回波抵消器模块的回波抵消器的回波转移函数信号的梯度改变。

[0018] 再按照本发明的第二方面,第二控制信号可以是后置滤波器的另一个转移函数信号,所述另一个转移函数信号对回波减小的话筒信号进行加权。

[0019] 再按照本发明的第二方面,该方法还包括以下步骤:在电话呼叫期间把侧音自适应信号耦合到耳机;以及把侧音声音音频信号提供给用户。

[0020] 又按照本发明的第二方面,在提供第一和第二控制信号的步骤之前,该方法还包括通过统计自适应滤波器控制器确定第一和第二控制信号的步骤。而且,在确定第一和第二控制信号的步骤之后,该方法还包括以下步骤:由回波抵消器模块通过使用由统计自适应滤波器控制器提供的第一控制信号来确定估计的回波信号;以及由加法器通过把估计的回波信号加到话筒信号而确定回波减小的话筒信号。再者,在由加法器确定回波减小的话筒信号的步骤之后,该方法还包括由后置滤波器通过使用由统计自适应滤波器控制器提供的第二控制信号而确定输出系统信号的步骤。

附图说明

[0021] 为了更加全面地了解本发明的特性和目的,结合以下附图参考以下详细说明,其中:

[0022] 图 1 是表示用于回声抵消的系统的方框图。

[0023] 图 2 是表示按照本发明的、用于通过使用统计自适应滤波器控制器进行回声抵消的系统的方框图。

[0024] 图 3 是表示按照本发明的、用于通过使用统计自适应滤波器控制器在离散富立叶变换 (DFT) 域中实施的回声抵消的系统的方框图。

[0025] 图 4a, 4b, 和 4c 分别显示图 3 的功能块 10, 12 和 14 的结构。

[0026] 图 5 是表示按照本发明的、图 3 和 4 的统计自适应滤波器控制器最佳化回波抵消的流程图。

具体实施方式

[0027] 本发明总的公开了用于免提电话中数字回声控制的统计自适应滤波器控制器,以取得比以前更一致的回波抵消结果(因此有更高的输出信号质量)和更简单的 AEC 单元实现方案。

[0028] 简单的统计自适应滤波器控制器被对于图 1 的回波抵消器模块 21 和后置滤波器 14 的联合控制进行最佳化。回波抵消器模块 21 和后置滤波器 14 的联合控制不单比回波抵消器模块 21 和后置滤波器 14 的个体最佳化更加简单,而且它也传递更一致的结果和更高的输出信号质量。简单的统计自适应滤波器控制器对于单独的回波抵消器模块 21 仅仅部分有用。

[0029] 图 2 显示使用按照本发明的统计自适应滤波器控制器 (SAFC) 40 的回声抵消系统 11 的方框图。SAFC 40 基本上是在用于回声抵消的回波抵消器模块 21 与用于剩余回波抑制的后置滤波器 14 之间所缺少的一环。块 21 和 14 是以上相对于图 1 描述的。如图 2 所示, SAFC 40 提供第一控制信号到回波抵消器模块 21 的梯度适配装置 12 以及提供第二控

制信号 44 到后置滤波器 14, 以便在即使存在噪声 $n(i)$ 时也能执行快速和鲁棒的适配。按照本发明的 SAFC 40 是从纯统计最佳化过程得到的, 所以是极简单和鲁棒的。如图 2 所示, SAFC 40 使用话音信号 $x(i)$ 20 和回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34 作为输入参数。

[0030] 第一控制信号 42 可以是步长信号, 它被使用来按照预定的准则确定另一个控制信号 15 的梯度改变。按照本发明, 梯度适配装置 12 通过使用话音信号 $x(i)$ 20 和回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34 作为输入信号 (如图 1) 以及附加地使用来自 SAFC 40 的第一控制信号 42, 而基于预定的准则确定另一个控制信号 15 的梯度来提供另一个控制信号 15 到回波抵消器模块 21 的回波抵消器 10。

[0031] 第二控制信号 44 可以是后置滤波器 14 的另一个转移函数信号, 所述另一个转移函数信号对回波减小的话筒信号 34 进行加权, 用于生成高质量的不失真的 (强烈地回波减小的) 话筒信号 36。回波抵消系统 11 可以在时域或频域中运行。这是指统计自适应滤波器控制器 40、回波抵消器模块 21 和后置滤波器 14 可以在时域或频域中运行, 以及所述第一和第二信号也可以分别在时域或频域中被提供。

[0032] 图 3 显示表示按照本发明的、用于在离散富立叶变换 (DFT) 域中实施的回声抵消系统的方框图的例子。在本方案中基于逐帧地处理信号采样流。信号帧是通过“开窗口”操作得到的, 以及“ k ”是帧时间索引。SAFC 40 提供步长信号 $\mu(k)$ 42 到回波抵消器模块 21 的梯度适配装置 12。步长信号 $\mu(k)$ 42 用来按照如下所要讨论的、话筒中的观察噪声量来估计另一个控制信号 $W(k+1) = W(k) + \Delta W(k)$ 15 的梯度 $\Delta W(k)$ 。步长信号 $\mu(k)$ 42 因此负责回波抵消器 10 的鲁棒性和运行精度。在最小均方误差 (MMSE) 意义下的最佳步长信号 $\mu(k)$ 42 例如可以在 G. Enzner, R. Martin 和 P. Vary, Partitioned Residual Echo Power Estimation for Frequency-Domain Acoustic Echo Cancellation and Postfiltering (用于频域回声抵消和后置滤波器的分割的剩余回波功率估计), European Trans. On Telecommunications, vol. 13, no. 2, pp. 103-114, 2002 年 3-4 月中找到, 如以下比值所示:

$$[0033] \quad \mu(k) = \frac{|G(k)|^2 \Phi_{xx}(k)}{\Phi_{ee}(k)} \quad (1)$$

[0034] 其中 $\Phi_{xx}(k)$ 和 $\Phi_{ee}(k)$ 分别是信号 $x(i)$ 20 和 $e(i)$ 34 的功率谱密度 (PSD) 信号, 以及 $|G(k)|^2$ 是相应于剩余回波脉冲响应 $g(i) = h(i) - w(i)$ 的剩余回波功率转移函数, 其中 $h(i)$ 和 $w(i)$ 分别是回声路径和回波抵消器 10 的脉冲响应。

[0035] SAFC 40 还提供第二控制信号 44- 后置滤波器权重信号 $H(k)$ 44- 到后置滤波器 14, 它要被施加到回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34 上。后置滤波器权重信号 $H(k)$ 44 是频域中后置滤波器 14 的另一个转移函数信号 (在图 2 的注解中定义的)。后置滤波器权重信号 $H(k)$ 44 负责有效地抑制回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34 中的剩余回波分量, 由此不引入有用的信号部分 $s(i) + n(i)$ 的可听见的失真。最佳后置滤波器权重信号 $H(k)$ 44 在 MMSE 意义上由以下式描述的 DFT 域中的维纳滤波器给出:

$$[0036] \quad H(k) = \frac{\Phi_{ee}(k) - |G(k)|^2 \Phi_{xx}(k)}{\Phi_{ee}(k)} \quad (2)$$

[0037] 按照本发明, 后置滤波器权重信号 $H(k)$ 44 取决于与包括下面确定的剩余回波功率转移函数 $|G(k)|^2$ 的步长信号 $\mu(k)$ 42 相同的参数。从公式 (1) 和 (2) 得出 $\mu(k) + H(k)$

= 1, 这是与 E. Hänsler 和 G. U. Schmidt, Hands-Free Telephones-Joint Control of Echo Cancellation and Postfiltering(免提电话-回波抵消和后滤波的联合控制), Signal Processing, vol. 80, no. 11, pp. 2295-2305, 2000 的结论一致的。

[0038] 在自适应滤波器的理论和研究中 (S. Haykin, Adaptive Filter Theory(自适应滤波器理论), Prentice Hall, 2002; A. Mader, H. Puder 和 G. U. Schmidt, Step-Size Control for Acoustic Echo Cancellation Filters-An Overview(用于回声抵消滤波器的步长控制-综述), Signal Processing, vol. 80, no. 9, pp. 1697-1719, 2000 年 9 月; G. Enzner, R. Martin 和 P. Vary, Partitioned Residual Echo Power Estimation for Frequency-Domain Acoustic Echo Cancellation and Postfiltering(用于频域回声抵消和后滤波的分割的剩余回波功率估计), European Trans. On Telecommunications, vol. 13, no. 2, pp. 103-114, 2002 年 3-4 月) 可以看到, 非常难找到对于实施公式 (1) 和 (2) 所需要的剩余回波功率转移函数 $|G(k)|^2$ 的可靠估计。按照本发明, 用于 $|G(k)|^2$ 的简单的统计估计器如在以下的段落中描述的那样被使用。

[0039] 公式 (1) 中的最佳步长信号 42 可被估计为

$$[0040] \quad \mu(k) = \frac{|G'|^2 \Phi_{xx}(k)}{\Phi_{ee}(k)} \quad (3)$$

[0041] 其中 $|G'|^2$ 是预先选择的常数。理论上可以看到, $|G'|^2$ 的具体的选择导致在话音信号 $x(i)$ 20 与回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34 之间的 $-10 \log_{10}(|G'|^2)$ dB 的回波反射损耗 (ERL)。所以, $|G'|^2$ 的预先选择的数值可被理解为回波抵消器模块 21 的目标收敛值 (目标精度)。

[0042] 在给定使用公式 (3) 估计的步长信号 $\mu(k)$ 42 后, 然后有可能按 S. Haykin, 在 Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, 2002 中描述的方法执行回波抵消器 10 的统计收敛分析。结果是剩余回波功率转移函数 $|G(k)|^2$ 的时变的一阶差分方程:

$$[0043] \quad |G(k+1)|^2 = |G(k)|^2(1-2\mu(k)) + \mu(k)|G'|^2 \quad (4)$$

[0044] 公式 (4) 只依赖于目标收敛值 $|G'|^2$ 和近似的步长信号 $\mu(k)$ 42 的选择。给定某些初始条件后, 公式 (4) 可以在每个帧索引“k”上对于剩余回波功率转移函数 $|G(k)|^2$ 的未知的数值循环地求解。该解可被用于通过公式 (2) 确定后置滤波器权重信号 $H(k)$ 44。

[0045] 公式 (3) 中步长信号 $\mu(k)$ 42 的近似是极其简单的, 所以回波抵消器 10 肯定工作在次最佳。在给定次最佳回波抵消器 10 后, 按照公式 (4) 和 (2) 的后置滤波器 14 在 MMSE 意义上无论如何都统计地接近最佳值。所以, 后置滤波器 14 可以在某种程度上克服回波抵消器 10 的弱点。

[0046] 因此图 3 所示的用于实施由公式 (2)-(4) 描述的算法的 SAFC 40 包括第一功率谱密度 (PSD) 装置 40b, 提供话音信号 $x(i)$ 20 的第一功率谱密度信号 $\Phi_{xx}(k)$ 46; 第二功率谱密度 (PSD) 装置 40c, 提供回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34 的第二功率谱密度信号 $\Phi_{ee}(k)$ 48; 以及统计自适应滤波器估计器 (SAFE) 40a, 分别响应于第一和第二功率谱密度信号 $\Phi_{xx}(k)$ 46 和 $\Phi_{ee}(k)$ 48; 以及使用公式 (2)-(4) 来确定和提供第一和第二控制信号 42 和 44。SAFE 40a 也预先选择常数 $|G'|^2$ 。用于确定信号帧的窗口函数被包括在 PSD 块 40c 和 40b 中。

[0047] 图 4a, 4b 和 4c 分别显示图 3 的功能块 10, 12, 14 的结构。这些功能块的结构对于

本领域技术人员是熟知的以及为了说明起见在这里被显示。给信号 $x(i)$ 20 和 $e(i)$ 34 开口是分别通过使用功能块 50 和 60, 以及 70 和 80 实现的。DFT 由功能块 52, 62 和 82 执行, 离散富立叶逆变换 (IDFT) 由功能块 56 和 82 执行, 以及乘法运算分别由功能块 54, 64, 66 和 84 执行。图 4b 的另一个控制信号 15 的梯度通过使用归一化最小均方 (NLMS) 类型算法作为预定的准则而被确定, 例如它可以在 DFT 域中被表示为

$$[0048] \quad \Delta W = \frac{\mu(k)E(k)X(k)}{\Phi_{xx}(k)} \quad (5)$$

[0049] 由功能块 58, 72 和 88 执行的线性化被使用来去除由 DFT/IDFT 产生的循环卷积 / 相关分量。功能块 10 和 12 一起可被看作为频域自适应滤波器 (FDAF), 它的推导可以在 S. Haykin, Adaptive Filter Theory (自适应滤波器理论), Prentice Hall, 第 7 章, 2002 和在 C. Cowan, P. Grant, Adaptive Filter (自适应滤波器), Prentice Hall, 1985 中, 在 E. Ferrara, Frequency-domain adaptive filtering (频域自适应滤波) 中找到。最后, 梯度适配装置 12 的功能块 74 执行加法运算, 以计算由回波抵消器 10 所需要的控制信号 15: $W(k+1) = W(k) + \Delta W(k)$ 。

[0050] 图 3 和 4 显示按照本发明的回波抵消系统 11 的实现方案的一个例子。然而, 有许多可能的变例。例如, 在具有某些修正的更加先进的实现方案中, 差分方程 (4) 的解可被代回方程 (1), 以便找到最佳步长信号的更好的近似。整个结构然后支持对回声控制问题的甚至更精确和更闭合的解。以上讨论的方案基本上被看作为本发明的直观的实现方案例子。这也指如图 5 所示的操作的步骤。

[0051] 图 5 是表示图 3 的统计自适应滤波器控制器最佳化回波抵消的流程图。在按照本发明的方法中, 在第一步骤 100, 由话筒 18 提供话筒信号 $y(i)$ 28, 其一部分是回波信号 $d(i)$ 22, 以及通过电话接收通路提供话音信号 $x(i)$ 20。所述回波信号是对由扬声器 16 响应话音信号 $x(i)$ 20 而提供的声音输出信号的话筒响应。在下一个步骤 101, 由 SAFC 40 的 SAFE 40a 预先选择常数 $|G'|^2$ 。在下一个步骤 102, 分别确定话音信号 $x(i)$ 20 和回波减小的话筒信号 34 的功率谱密度信号 $\Phi_{xx}(k)$ 46 和 $\Phi_{ee}(k)$ 48。在下一个步骤 104, 由 SAFC 40a 通过使用公式 (3) 确定步长信号 $\mu(k)$ 。在下一个步骤 106, 由 SAFE 40a 通过求解方程 (4) 确定剩余回波功率转移函数 $|G(k)|^2$ 以及通过使用公式 (2) 确定后置滤波器权重信号 $H(k)$ 44。在下一个步骤 108, 由 SAFE 40a 把步长信号 $\mu(k)$ 42 提供到梯度适配装置 (GAM) 12 以及把后置滤波器权重信号 $H(k)$ 44 提供到后置滤波器 14。在步骤 106 后, 处理过程继续进到步骤 110 和 106, 它们发起并行进行的两个过程。

[0052] 在步骤 110, 由梯度适配装置 12 通过使用公式 (5) 确定另一个控制信号 15 的梯度信号 $\Delta W(k)$, 梯度适配装置 12 还执行相加运算 $W(k+1) = W(k) + \Delta W(k)$, 并进一步提供 $W(k+1)$ 到回波抵消器 10。在下一个步骤 112, 回波抵消器 10 提供估计的回波信号 $d'(i)$ 到加法器 30。在下一个步骤 114, 由加法器 30 生成回波减小的话筒信号 $e(i)$ 34 并把它提供到 GAM 12、后置滤波器 14 和 SAFC 40 的功率谱密度装置 40b。

[0053] 在下一个步骤 116, 后置滤波器 14 通过使用后置滤波器权重信号 $H(k)$ 44 进一步减小回波减小的话筒信号 34 的剩余回波分量, 后置滤波器权重信号 $H(k)$ 44 对回波减小的话筒信号 34 进行加权, 生成高质量的无失真的 (回波强烈地减小的) 话筒信号 36。

[0054] 在步骤 114 和 116 后, 在下一个步骤 120, 确定通信 (例如, 电话对话) 是否继续

在进行。如果不是的话,则处理过程停止。如果通信是继续在进行,则处理过程返回到步骤 102。

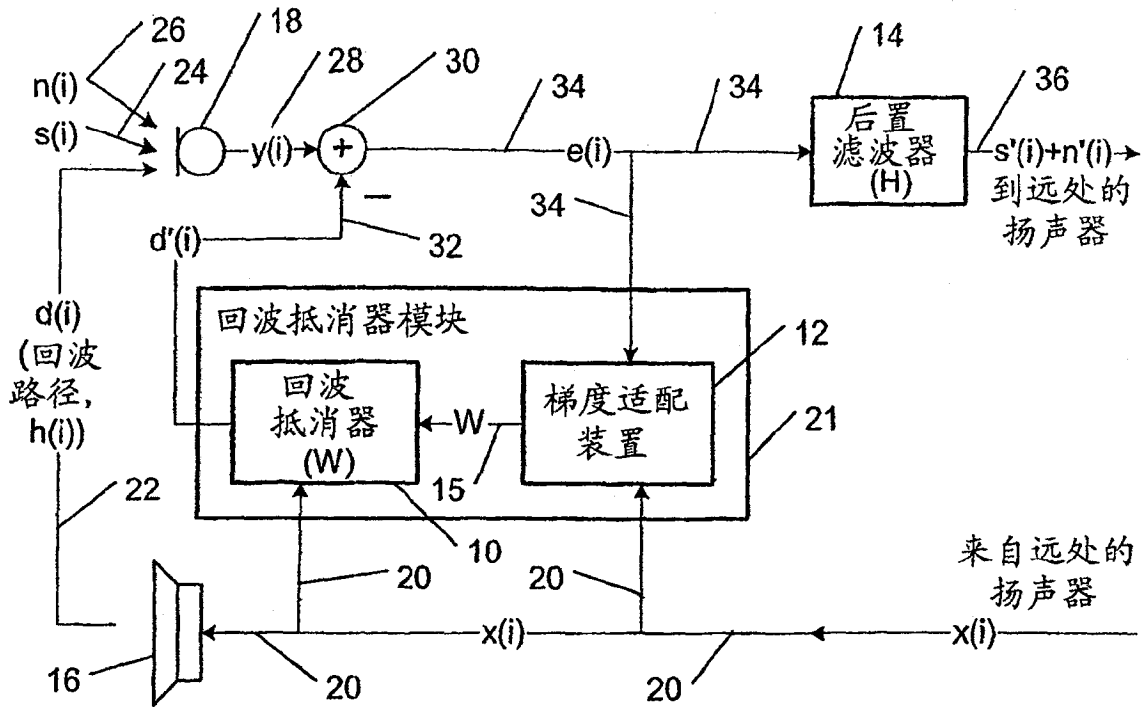


图 1

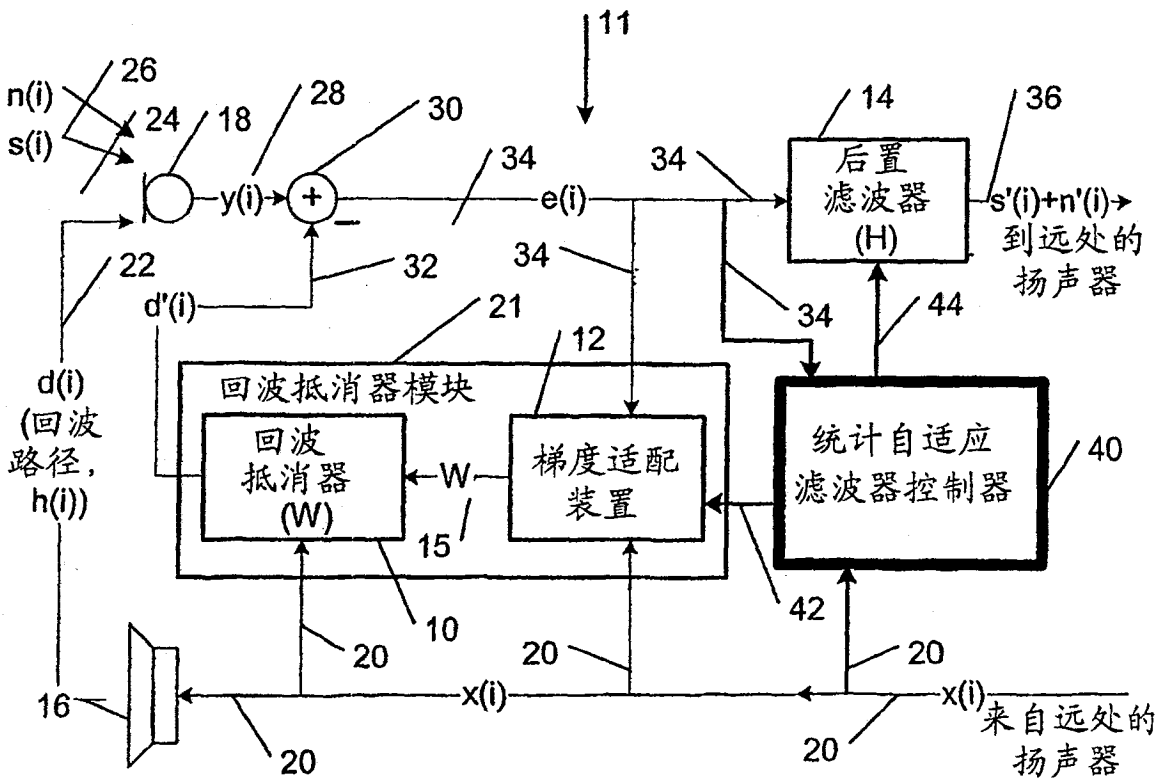


图 2

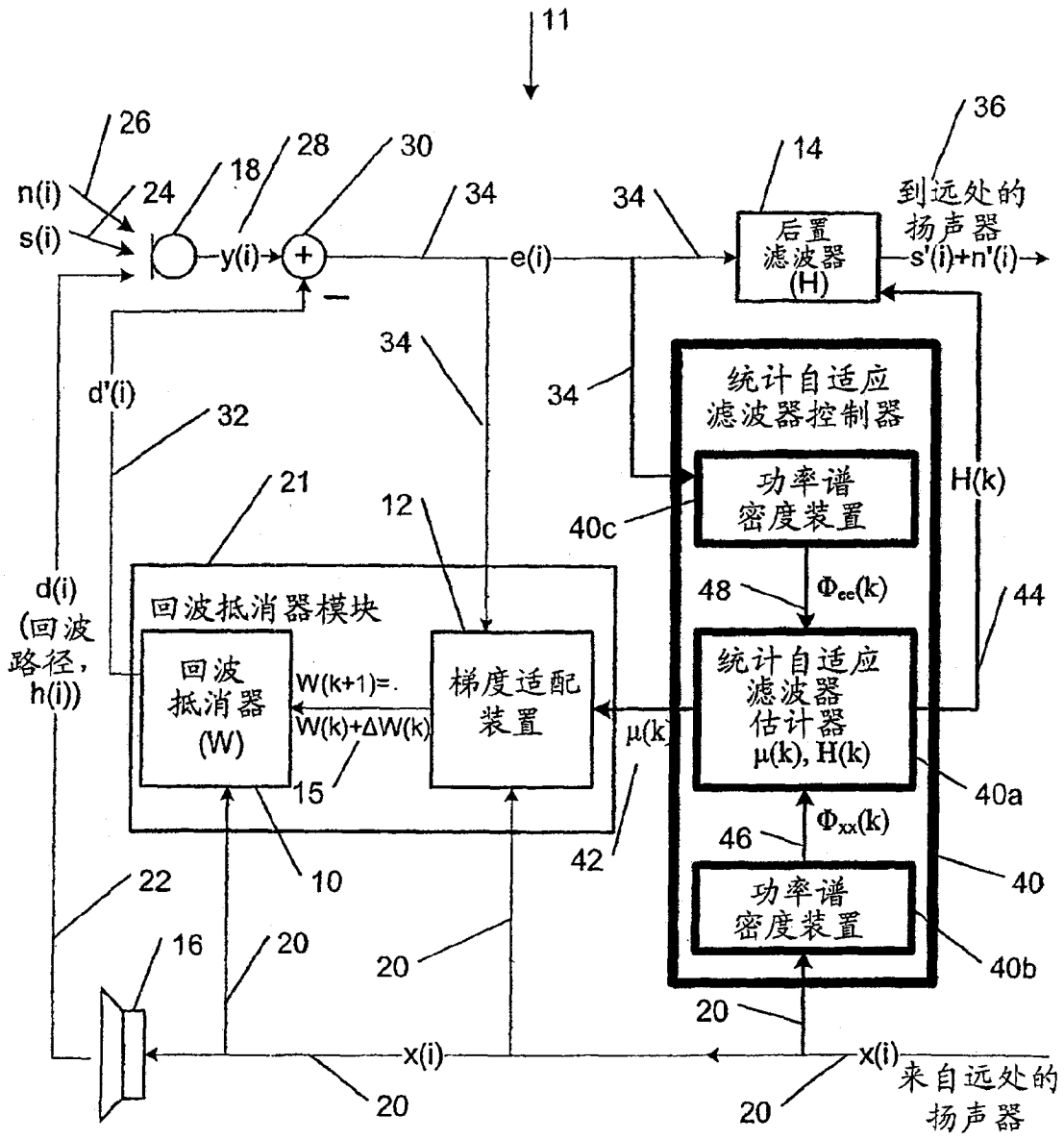


图 3

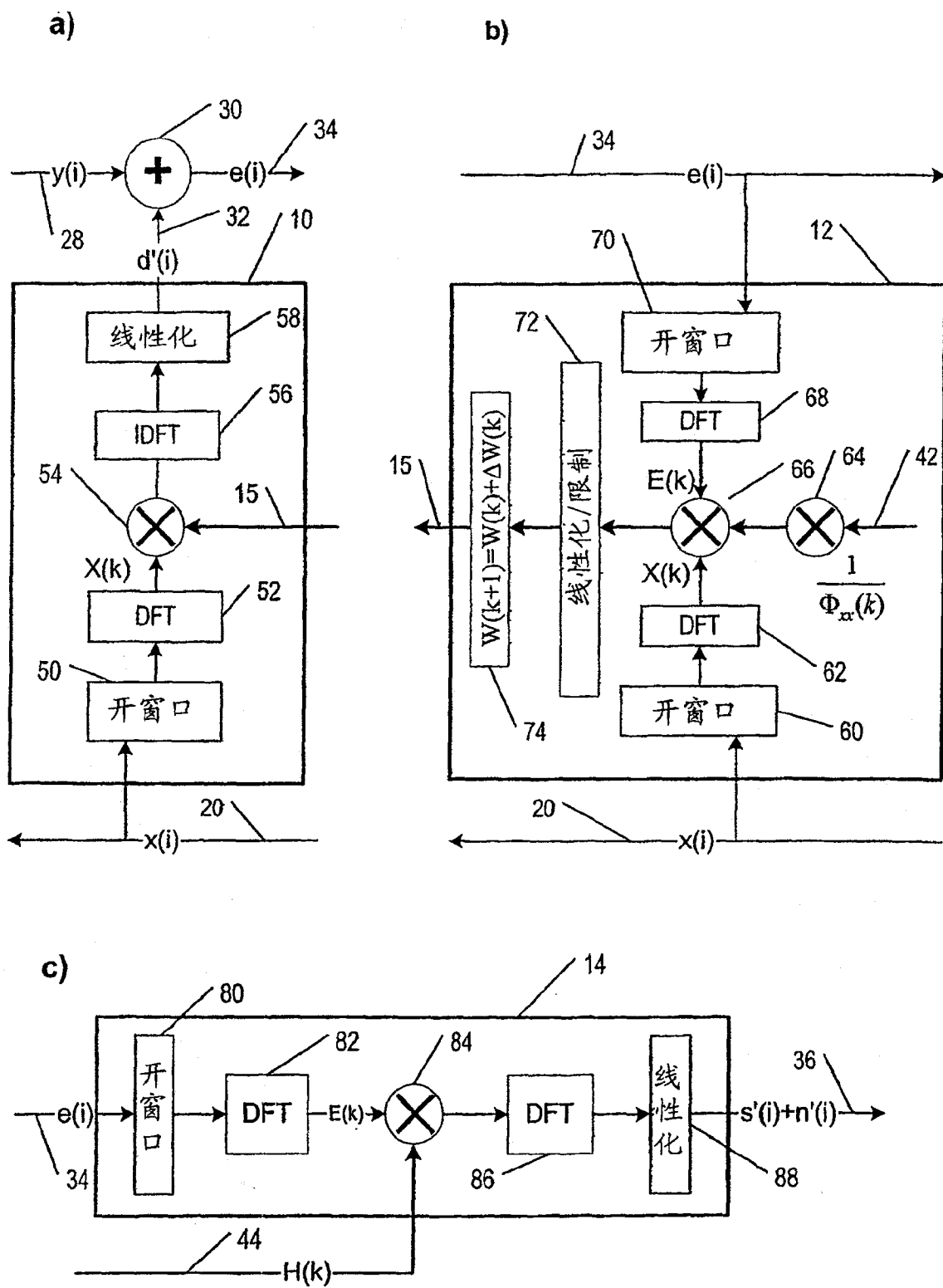


图 4

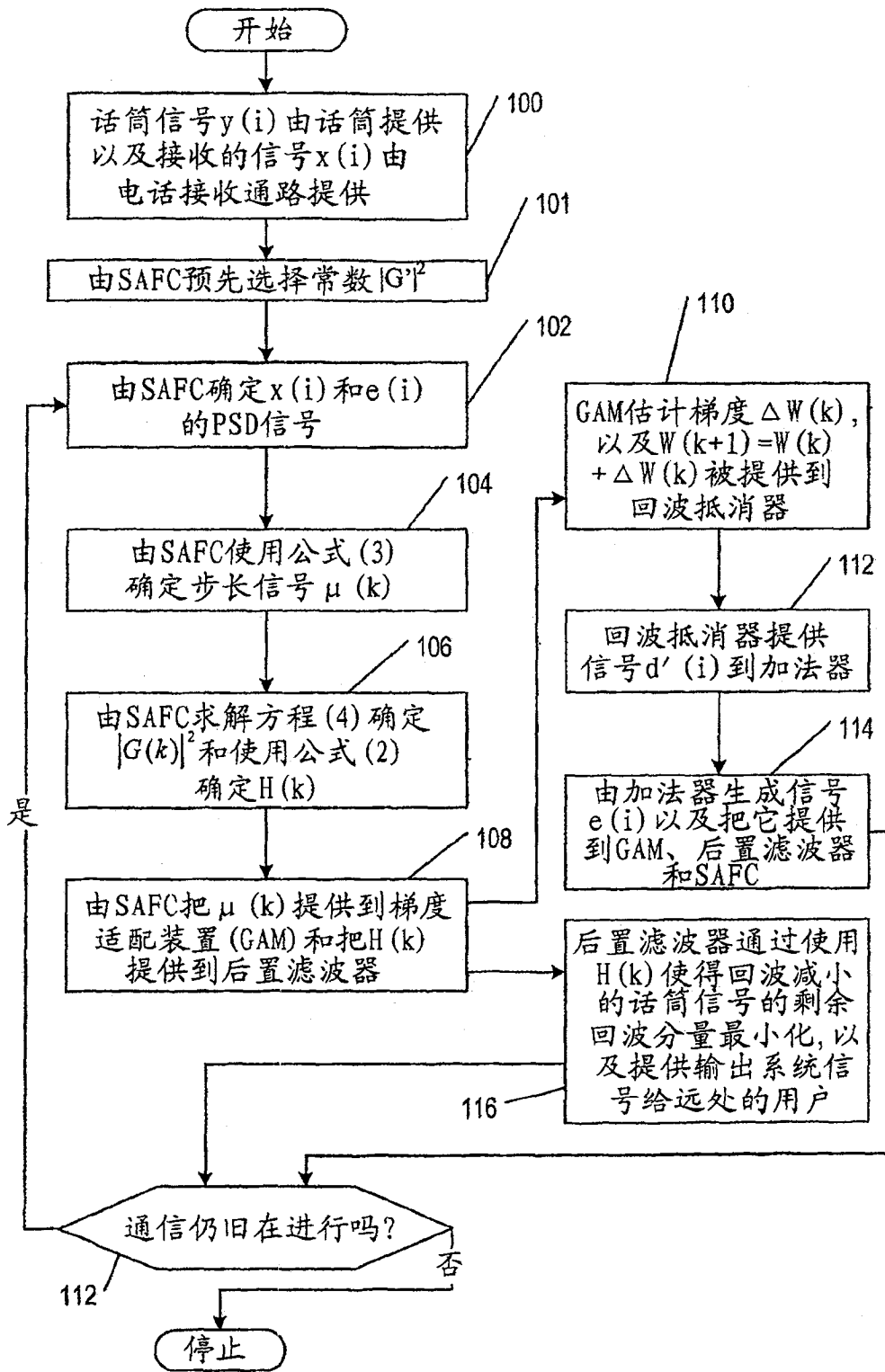


图 5