[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
H04B 3/23

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02800063.3

[45] 授权公告日 2005 年 12 月 7 日

[11] 授权公告号 CN 1230994C

[22] 申请日 2002.1.10 [21] 申请号 02800063.3
[30] 优先权
[32] 2001.1.11 [33] GB [31] 0100674.1
[86] 国际申请 PCT/CA2002/000038 2002.1.10
[87] 国际公布 WO2002/056496 英 2002.7.18
[85] 进入国家阶段日期 2002.9.11
[71] 专利权人 扎尔林克半导体股份有限公司
地址 加拿大安大略
[72] 发明人 迈克尔·塞伯特
审查员 王智勇

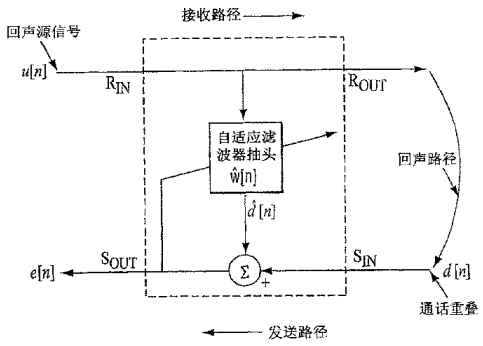
[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司
代理人 沙 捷

权利要求书 4 页 说明书 12 页 附图 2 页

[54] 发明名称 检测回声消除系统中的通话重叠和路径变化的方法及其检测器

[57] 摘要

本发明公开了一种利用来自通常在回声消除器中发现的信号的零位延迟自相关和互相关生成矩阵系数的处理。 然后，利用诸如行列式、本征分解或者奇异值分解(SVDs)等矩阵操作来检测通话重叠和路径变化。 在一个优选实施例中，将基于相关的矩阵的行列式与预定的门限值进行对比。



ISSN1008-4274

1、一种检测回声消除系统中的通话重叠和路径变化的方法，包括：

在所述的回声消除系统中生成一信号的基于相关的矩阵；和

分析所述基于相关的矩阵，以识别所述系统中出现的通话重叠和路径变化。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其中所述基于相关的矩阵是利用所述信号的零位延迟自相关和互相关生成的。

3、根据权利要求 2 所述的方法，其中所述矩阵的行列式用于检测所述通话重叠和路径变化。

4、根据权利要求 3 所述的方法，其中所述的通话重叠和路径变化是在所述行列式的值通过预定的门限值时推断出来。

5、根据权利要求 2 所述的方法，其中所述矩阵的本征分解用于检测所述通话重叠和路径变化。

6、根据权利要求 2 所述的方法，其中所述矩阵的单值分解用于检测所述通话重叠和路径变化。

7、根据权利要求 2 所述的方法，其中所述矩阵的制约数用于检测所述通话重叠和路径变化。

8、根据权利要求 1 至 7 之任一权利要求所述的方法，其中所述回声消除系统包括一个自适应滤波器，所述信号包括一个回声信号和一个所述自适应滤波器的输出。

9、根据权利要求 8 所述的方法，其中所述滤波器是一个最小均方滤波器。

10、根据权利要求 9 所述的方法，其中所述最小均方滤波器实施归一化最小均方算法。

11、根据权利要求 1 至 7 之任一项所述的方法，其中所述基于相关的矩阵的元素是在时域中产生。

12、根据权利要求 8 所述的方法，其中所述基于相关的矩阵的元素是在时域中产生。

13、根据权利要求 9 所述的方法，其中所述基于相关的矩阵的元素是在时域中产生。

14、根据权利要求 10 所述的方法，其中所述基于相关的矩阵的元素是在时域中产生。

15、 根据权利要求 1 至 7 之任一项所述的方法，其中所述基于相关的矩阵的元素是在频域中产生。

16、根据权利要求 8 所述的方法，其中所述基于相关的矩阵的元素是在频域中产生。

17、根据权利要求 9 所述的方法，其中所述基于相关的矩阵的元素是在频域中产生。

18、根据权利要求 10 所述的方法，其中所述基于相关的矩阵的元素是在频域中产生。

19、根据权利要求 3 所述的方法，其中所述行列式 R 是依据下式的行列式

$$R = E\begin{bmatrix} X_0X_0^T & X_0X_1^T \\ X_1X_0^T & X_1X_1^T \end{bmatrix}$$

其中 $X_0[n]$和 $X_1[n]$通过两个真值源信号 $S_0[n]$和 $S_1[n]$的线性合并生成。

20、根据权利要求 19 所述的方法，其中 $S_0[n]$包括一个回声信号，$S_1[n]$包括一个消除信号。

21、一种通话重叠和路径变化检测器，包括：

一个在所述的回声消除系统中生成信号的基于相关的矩阵的处理部件：和

一个分析所述基于相关的矩阵的处理部件，用于识别所述系统中出现的通话重叠和路径变化。

22、根据权利要求 21 所述的通话重叠和路径变化检测器，其中所述基于相关的矩阵是利用所述信号的零位延迟自相关和互相关生成。

23、根据权利要求 22 所述的通话重叠和路径变化检测器，其中所述矩阵的行列式用于检测所述通话重叠和路径变化。

24、根据权利要求 22 所述的通话重叠和路径变化检测器，其中所述的通话重叠和路径变化是在所述行列式的值通过预定的门限值时推断出来。

25、根据权利要求 22 所述的通话重叠和路径变化检测器，其中所述矩阵的本征分解用于检测所述通话重叠和路径变化。

26、根据权利要求 22 所述的通话重叠和路径变化检测器，还包括一个自适应滤波器，所述信号包括一个回声信号和一个所述自适应滤波器的输出。

27、根据权利要求 26 所述的通话重叠和路径变化检测器，其中所述滤波器是一个最小均方滤波器。

28、根据权利要求 23 所述的通话重叠和路径变化检测器，其中所述行列式(R)是依据下式的行列式

$$R = E\begin{bmatrix} X_0 X_0^T & X_0 X_1^T \\ X_1 X_0^T & X_1 X_1^T \end{bmatrix}$$

其中 $X_0[n]$和 $X_1[n]$通过两个真值源信号 $S_0[n]$和 $S_1[n]$的线性合并生成。

检测回声消除系统中的通话重叠和路径变化的方法及其检测器

发明领域

本发明涉及一种检测回声消除系统中的通话重叠和路径变化的方法。回声消除被广泛地用于电信应用以修复各种各样的信号，比如话音、数据传送和视频信号。

背景技术

有效回声消除处理的探索已经产生若干不同方法，它们的复杂性、成本和性能均不同。回声消除的传统方法是使用一个长度 L 的自适应滤波器，其中 L 等于正好扩展到回声持续时间之外所需的抽样数目。通常，自适应滤波器包含 512 或者 1024 个抽头，在每秒 8000 个抽样的标准电话比特速率条件下，其提供了分别适应 64ms 和 128ms 长的回声路径的能力。

自适应滤波器的计算需求量与流行的 LMS（最小均方）算法中的 L 成正比，并且正比于或高于诸如 RLS（递归最小二乘方）的算法中的 L^2。更强的算法（像 RLS）极大地改善了 LMS 方法的收敛特性，但是当前的技术不能满足 L^2 计算负载的要求。为此，LMS 算法(以及其变种)依然保持作为回声消除的算法选择。

实际的回声消除装置必须提供某些避免通话重叠发散的措施。通话重叠情形出现在从回声消除器的两侧同时传送信号的时候，其原因是除了回声外还存在近端话音。在这种环境下，返回回声路径信号 S_{IN}(参见图 1)包含来自回声源信号的返回回声和通话重叠信号。通话

重叠信号的存在将阻止基于 LMS 的回声消除器在适当的回声路径上收敛。它还使一个预收敛的回声消除器发散到不可预知的状态。发散之后，回声消除器将不再消除回声，并且必须重新收敛于正确的解法。这种特性是不能接受的，因而必须在实际装置中避免出现。因此，必须实施某些检测通话重叠的措施。为了避免发散，LMS 滤波器系数在通话重叠出现期间通常被固定。

快速并可靠地检测通话重叠是一个众所周知的难题。全收敛 LMS 滤波器中，即使少量的发散也将导致剩余回声电平的明显增加。快速和可靠的通话重叠检测器的使用对维持适当的性能是至关紧要的。

检测通话重叠的最简单、或许最普通的方法是使用信号电平。回声路径通常包含返回信号的最小量损失或者减少。该损失量通常被称作回声返回损失，或者 ERL。在大多数系统中，假定该损失量至少为 6dB。换言之，返回信号 S_{IN} 将处于比没有通话重叠的 R_{OUT} 至少低 6dB 的电平上。在存在通话重叠的情况下，经常通过增加 S_{IN} 的电平，使它不再低于 R_{OUT} 6dB。这种情况提供了对通话重叠的简单和方便的检测。这种方法的问题是通话重叠检测器必须能够精确估计回声路径 ERL，以便确定 S_{IN} 的电平是否太高。然而，ERL 的准确估计通常不能得到。如果 ERL 估计太高，则通话重叠检测器也许不必要地触发。相反，如果 ERL 估计太低，通话重叠检测器则可能完全不触发。

该技术的另一个问题是其只能检测高电平的通话重叠。如果通话重叠信号处在比回声源信号低得很多的电平上，则出现低电平通话重叠。在此情况下，S_{IN} 的电平增加通常是非常小的。通话重叠检测器也

许不能触发，但是 LMS 滤波器的显著发散可能仍然发生。

为了检测低电平通话重叠，常常监测剩余回声信号（S_{OUT}）的电平。如果未出现通话重叠或者背景噪声，并且 LMS 滤波器完全收敛，则 S_{OUT} 可能比 R_{OUT} 低 40dB 之多。假定回声路径保持不变，则 S_{OUT} 的任何增加将很有可能是通话重叠造成的。当然，如果回声路径变化，将把通话重叠误认为路径变化。所以，如果使用该方法，必须使用单独的路径变化检测算法。一元化方法将是较简单和可取的。

相关是一种通常在信号处理中使用的统计函数。它可以提供两个信号之间相似性（互相关）的测量，或者单一信号与该信号的时移版本之间相似性（自相关）的测量。就在通话重叠检测中使用相关本身而言，是公知的。许多专利均为基于相关的通话重叠检测，包括 US5646990、US5526347 和 US5193112。采用现有技术方法的基于相关的方法通常包括单个互相关系数的计算，该系数一般在 R_{IN} 与 S_{IN} 之间。该类技术的问题是相关的程度可以随不同信号和回声路径在很宽范围内变化。这使得它很难设置相关系数的门限值，以便确定回声消除器处于什么状态。

发明内容

目前已经开发了一种方法，该方法依据一般是在回声消除器中发现的信号进行零位延迟自相关和互相关以产生矩阵系数，然后通过矩阵操作，比如行列式、本征分解、或者奇异值分解（SVDs）来检测通话重叠和路径变化。

回声消除器中的各种信号之间的相关将随回声消除器所处的状

态而变化，即，是否收敛、不收敛或者通话重叠。通过在适当的矩阵形式中安排各种相关，关于回声消除器状态的关键信息可以通过执行各种矩阵操作来获得。优选操作是采用行列式，但也可以使用本征分解和奇异值分解（SVDs）。本发明的新颖性方面是使用各种相关系数的矩阵公式，以及对该矩阵的后续分析，以确定回声消除器的状态。

所以，本发明提供了一种检测回声消除系统中的通话重叠和路径变化的方法，包括：在所述回声消除系统中生成一个信号的基于相关的矩阵；并分析所述的基于相关的矩阵，以识别出现在所述系统中的通话重叠和路径变化。

在优选实施例中，使用返回回声信号（S_{IN}）和 LMS 自适应滤波器的输出可生成基于相关的矩阵。

本发明提供了一种基于相关的矩阵，该矩阵依据一般是在回声消除器中发现的信号进行零位延迟自相关和互相关而产生。

通话重叠和路径变化通过对基于相关的矩阵的分析来检测。可能的分析技术包括制约数、行列式、本征分解和奇异值分解。

在一个优选实施例中，行列式被用来检测通话重叠和路径变化。

本发明可以使用传统数字信号处理技术的数字信号处理器的时域或者频域来实施。

本发明还提供了一种通话重叠和路径变化检测器，该检测器包括：一个在所述回声消除系统中产生信号的基于相关的矩阵的处理部件；和一个分析所述基于相关的矩阵的处理部件，以识别出现在所述系统中的通话重叠和路径变化。

附图说明

下面参考附图以实例方式详细说明本发明。

图 1 是使用 LMS 自适应滤波的一个回声消除器的示意图；

图 2a 表示在正常收敛下的 det[R]的值的曲线图；

图 2b 表示具有路径变化的 det[R]的值的曲线图；

图 2c 表示具有通话重叠的 det[R]的值的曲线图。

图 1 示出了典型的基于 LMS 的回声消除器的布局。该回声消除器包括一个沿 “发送路径”传送的信号和一个沿“接收路径”传送的信号。回声源信号输入回声消除器时表示为 R_{IN}，离开回声消除器时表示为 R_{OUT}。发送路径输入 S_{IN} 包括通话重叠信号（假如存在）加上沿回声路径传送之后的回声源信号。通过估算回声路径，可以生成合成的回声信号以消除发送路径中的回声。消除回声后的信号表示为 S_{OUT}。

LMS 滤波器试图通过自身调整以抑制 S_{OUT} 处的输出信号来消除回声。显然，如果 S_{IN} 包含不同于来自回声源的回声话音的成分，则 LMS 滤波器将不能收敛于正确的解法；因此需要通话重叠检测。

本专利申请的算法的优选实施例使用归一化-LMS(N-LMS)算法。在数学上，N-LMS 算法的自适应滤波器加权抽头更新程序包括以下三个等式：

$$\hat{d}[n] = \hat{w}^H[n]u[n]$$

$$e[n] = d[n] - \hat{d}[n]$$

$$\hat{w}[n+1]=\hat{w}[n]+\frac{\mu}{a+\|u[n]\|^2}u[n]e[n]$$

其中

$u[n]$= R_{IN}=回声源信号

$\hat{w}[n]$=LMS 滤波器系数

$d[n]$=S_{IN}=预期的 LMS 输出（回声＋通话重叠）

$\hat{d}[n]$=LMS 输出（估算的回声）

$e[n]$=S_{OUT}=LMS 误差信号

μ=LMS 步长参数

a=一个小常数（提供数值稳定性）

图 1 示出了回声消除器中的这些信号的位置。N-LMS 算法对于本领域的熟练技术人员是众所周知的，更详细的处理可以容易地在大多数自适应滤波器读本中得到。例如，参见 S.Haykin 的自适应滤波器理论（Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ（1996））。

N-LMS 算法的关键参数之一是 LMS 步长参数 μ。该参数控制收敛的速度和精度。μ 越大，算法在回声路径上收敛就越快，但是稳定状态解法将越不精确。为了保证 N-LMS 算法的收敛，μ 必须小于 2。

一般技术是根据回声消除器的状态调整 μ 的值。在非收敛状态中（比如，启动时，或者路径变化之后），希望使用 μ 的大数值以允许迅速初始收敛。一旦 LMS 滤波器已经实现一个合理程度的收敛时，可以减少 μ。这不但允许稍微更精确的解法（因此更好的消除），但其也减慢了通话重叠的潜在发散。为了完全停止适应，可以简单地把

μ 设置为零。因此，通话重叠和路径变化检测器通过改变 μ 的数值，可以控制 LMS 滤波器的操作。

下面将说明被设计来与图 1 所示的回声消除器结合使用的发明优选实施例的通话重叠检测算法。该通话重叠检测算法在数字信号处理器中实现。假定两个信号，$X_0[n]$和 $X_1[n]$通过两个真值源信号 $S_0[n]$和 $S_1[n]$的线性合并生成。在数学上，该合并处理可以被描述为

$$X_i = H_{i,0} \cdot S_0 + H_{i,1} \cdot S_1,$$

其中，$H_{i,j}$是合并系数。在矩阵形式中，这可以被写成

$$X = H \bullet S$$

其中

$$X = \begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} H_{0,0} & H_{0,1} \\ H_{1,0} & H_{1,1} \end{bmatrix} and S = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \end{bmatrix},$$

矩阵 R 被定义为

$$R = E\left[xx^T \right]$$

其中 E[...]是统计的期望算子。R 可以按两种方式扩展

$$R = E\begin{bmatrix} X_0 X_0^T & X_0 X_1^T \\ X_1 X_0^T & X_1 X_1^T \end{bmatrix}$$

$$= E[HSS^T H^T]$$

依据第一扩展，可以清楚地看到 R 中的对角线项是 $X_0[n]$和 $X_1[n]$的零位延迟自相关，非对角线项对应于 $X_0[n]$与 $X_1[n]$之间的零位延迟互相关。因此，R 是对称的基于相关的矩阵。

依据第二扩展，可以看到如果 H 是满秩的，那么如果 $S_0[n]$和 $S_1[n]$是非零的并且不相关，则 R 也将是满秩的。在大多数情况下，对此的

充分条件是 $S_0[n]$和 $S_1[n]$是来自不同源的不同信号。

下面将解释矩阵可以用来执行通话重叠和路径变化检测的方式。首先，我们假设使用卷积生成信号合并：

$$X = H \otimes S$$

现在混合矩阵中的各项可以是矢量。我们进一步利用 H 具有下列格式的条件：

$$H = \begin{bmatrix} H_{0,0} & 1 \\ H_{1,0} & 0 \end{bmatrix}$$

由于以此方式定义了 H，因此现在可以用图 1 所示的回声消除器中的可用参数来链接上述等式中的各项。

令

S_0=回声源信号＝R_{IN}=u[n]

S_1=通话重叠信号

$H_{0,0}$＝回声路径

$H_{1,0}$=LMS 滤波器系数＝$\hat{w}$ [n]

由于这些定义，可以看到

$$X_0 = H_{0,0} \otimes S_0 + S_1 = S_{IN} = d[n]$$

$$X_1 = H_{1,0} \otimes S_0 = \hat{d}[n]$$

下面解释在回声消除器操作的各种状态下 R 所发生的变化。

<u>情形 1：未收敛，无通话重叠</u>

如果 LMS 滤波器处于未收敛状态，则 $H_{0,0} \neq H_{1,0}$。这种情况发生在回声消除器首次启动的时候，或者主要回声路径变化之后。由于 LMS 滤波器不包含精确的回声路径估计，因此 $X_0 \neq X_1$，以及 R 将是具有非

常低制约数的全秩（除非 $H_{1,0}$=0，但这种条件通常是暂时的）。例如，参见 G.H.Golub 和 C.F.Van Loan，矩阵计算，3rd ed.,Johns Hopkins University Press，Baltimore，MD（1996）.(k~10^1)。随着收敛进行，X_0 与 X_1 之间相关程度增加。这样可快速提高 R 的制约数。从而，R 的行列式将降低，并且本征值和奇异值将越来越变得全异。

情形 2：收敛，无通话重叠

在该状态下，$H_{0,0}\approx H_{1,0}$，所以 $X_0\approx X_1$。这使得 R 非常接近秩缺乏，并且使它的制约数非常大（k～10^6）。由于 R 接近于奇异，因此其行列式将变得非常小。类似地，我们将希望仅发现一个有效的本征值或者奇异值。

情形 3：通话重叠

当通话重叠发生时，X_0 含有来自 S_0 和 S_1 的分量，而 X_1 单独从 S_0 导出。在此情况下，X_1 和 X_0 非常不相关。R 将具有一个低制约数，这种情况将在通话重叠的整个持续期间持续。通话重叠电平越高，制约数就变得越低。这将提高 R 的行列式，并且将使我们发现两个有效的本征值和奇异值。

一旦生成矩阵 R，各种操作就可以用来确定回声消除器处于什么状态。制约数、行列式、本征值和奇异值都可以用来检验通话重叠或者路径变化。在本发明的优选实施例中使用行列式的原因是这种情况下的矩阵操作执行最简单。

为了说明在检测通话重叠和路径变化时该算法的有效性，模拟执行的结果如图 2 所示。该曲线图显示了在正常收敛、路径变化和通话

重叠条件下的 det[R]的值。曲线图上的 Y 轴线上的刻度清楚地表明了在三种不同状态下，在 det[R]中观看到的变化。该模拟是依据来自于 G.168 数字回声消除器标准的 ITU CSS 合成信号进行的。ITU-T 推荐使用 G.168 数字回声消除器。该信号有 48000 抽样长度，并且使用 60ms 回声路径（在路径变化模拟期间被改变为 15ms）。

在正常收敛条件下（图 2a），det[R]迅速衰减到近似零值。当路径变化发生时（图 2b），det[R]突然上升到一个大数值，然后衰减（为了强调该趋势，在路径变化之后，用 10 的因子减缓收敛）。对于通话重叠（下曲线图），较大的，但是持续的尖峰值出现在 det[R]中。这三个曲线中的差别能够通过简单地检查 det[R]的电平，而非常容易地表明回声消除器处于什么状态。最高的电平表示通话重叠，中间电平（伴随衰减）在路径变化时出现，非常低的电平是全收敛的特征。基于这些结果，可以按以下方式设置门限值：

-正常（收敛）操作。

-检测的路径变化。

-检测的通话重叠。

一旦确定了回声消除器的状态，就可以调整 LMS 滤波器操作。

信号处理中的已知关系是两个信号的时间卷积相当于它们频谱的相乘。这种特性能够使它提出对使用信号的频域版本的前述算法的变更。X 已经在时域中使用卷积来定义：

$$X[n] = H[n] \otimes S[n]$$

通过对所包含的所有各项进行傅里叶变换，能够在频域中将上式

重新写成：

$X(f_k)=H(f_k)\cdot S(f_k)$

对于 $0\leqslant f_k,\leqslant F_S/2$ 范围内的所有频率，其中，F_S是信号的抽样频率。基于相关的矩阵 R 的产生和分析按上述方式执行，这里仅使用 X 的频域版本建立 R。

该方法的优点是该算法不再需要为了在非通话重叠状态期间具有一个高制约数而对 R 进行精确回声路径估算。通话重叠检测器变得对路径变化相当不敏感。根据该应用，这可能是或者可能不是一个理想特性。低电平通话重叠检测能力得到提高，但是必须使用单独的路径变化检测方案。

该处理的频域版本的实施可以通过快速傅里叶变换（FFTs）或者分波段技术来实现。

正如本领域的熟练技术人员将会明白的那样，本发明的处理可以用数字信号处理器或者其它合适的数字信号处理装置实现。

技术术语说明

自适应滤波器：一种在操作期间可以调整系数的滤波器。自适应滤波器被用来估算未知的参数，例如，一个未知的回声路径。

自相关：粗略测量一个信号对于其时移版本的相似性的统计量。

制约数：矩阵接近于奇异的程度的一种测量。一个任意矩阵 A 的制约数由 $k(A)=\|A\|\|A^{-1}\|$ 给出。

收敛：当 LMS 滤波器准确模仿回声路径并且不再经历明显变化时获得的条件。在收敛时，LMS 滤波器正在消除回声的最大量。

互相关：粗略测量两个分离信号的相似性的统计量。

发散：LMS 滤波器系数离开回声路径移动到错误的不可知解法的处理。在发散期间，消除的回声量变得越来越小。

通话重叠：从回声消除器的两侧同时传送信号期间出现的情形。

回声路径：将回声给予一个信号的处理的数学说明。

ERL：回声返回损失。当信号沿着从 R_{OUT} 到 S_{IN} 的回声路径时所经历的信号损失。

ERLE：回声返回损失增强。一种测量回声消除器性能的一般方法。该测量代表回声信号从 S_{IN} 到 S_{OUT} 减少的量。

LMS 算法：最小均方算法。一般的自适应滤波技术。

N-LMS 算法：归一化最小均方算法。标准 LMS 的变种，其中由输入信号功率的倒数刻标加权抽头更新项。

秩：一个矩阵具有的非零本征值或者奇异值的数量。全秩矩阵具有非零行列式，因而是非奇异的和可逆的。

RLS 算法：递归最小二乘方算法。一般的自适应滤波技术。

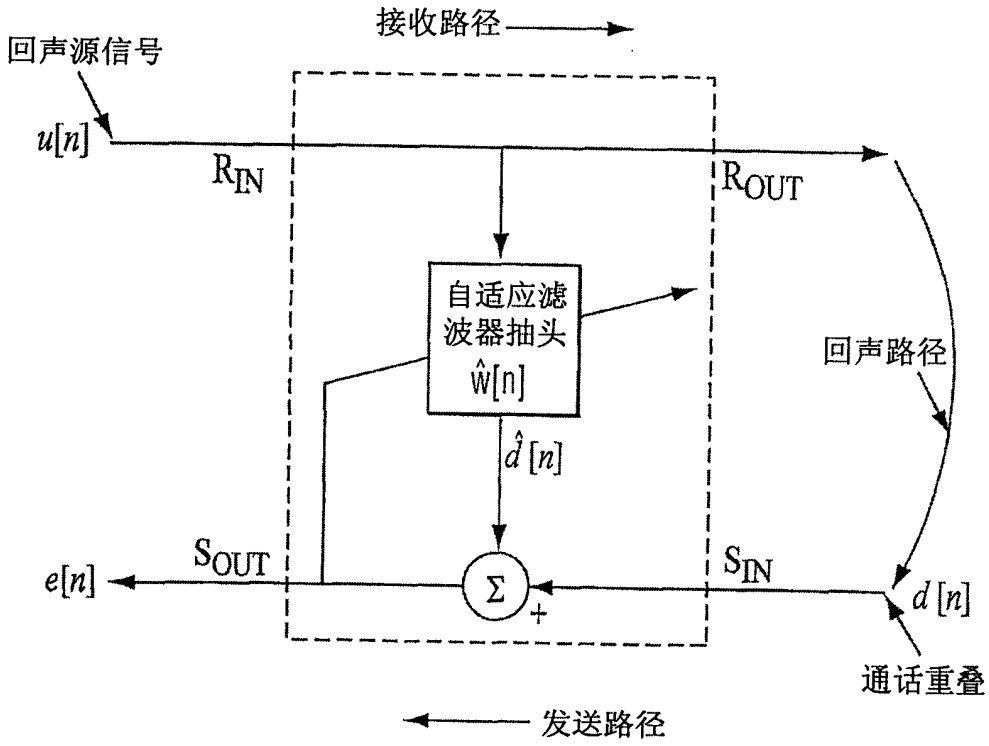

接收路径
回声源信号
u[n]
R_IN
R_OUT
自适应滤
波器抽头
ŵ[n]
回声路径
d̂[n]
e[n]
S_OUT
Σ
+
S_IN
d[n]
通话重叠
发送路径

FIG. 1

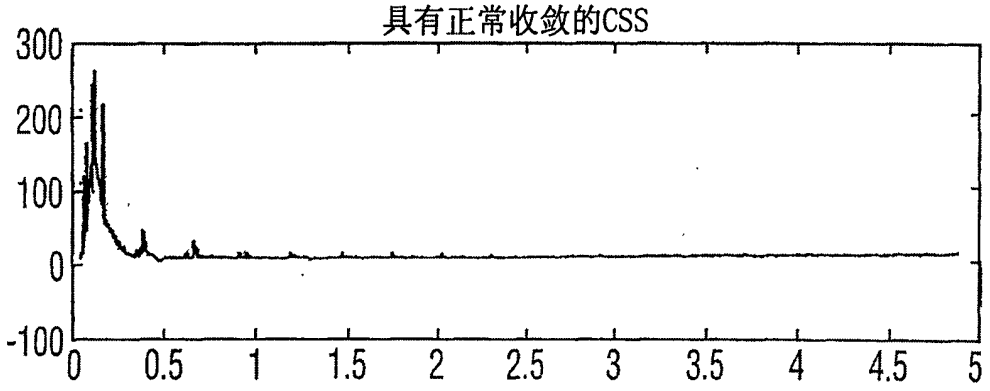


FIG. 2a

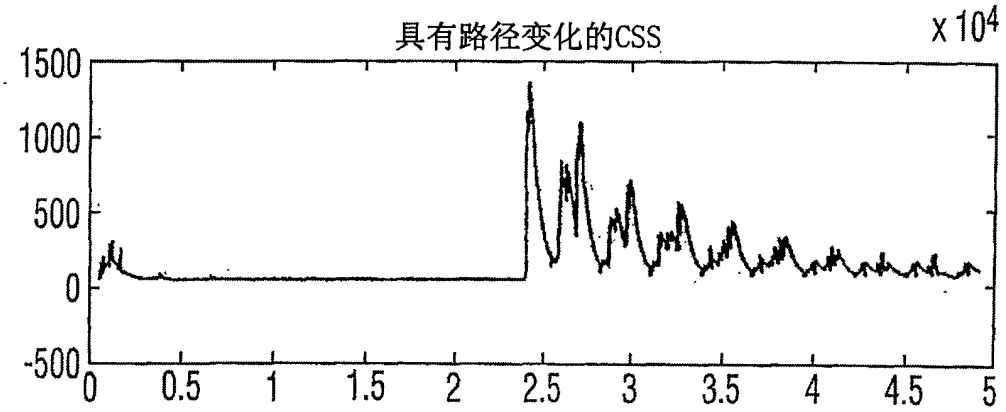


FIG. 2b

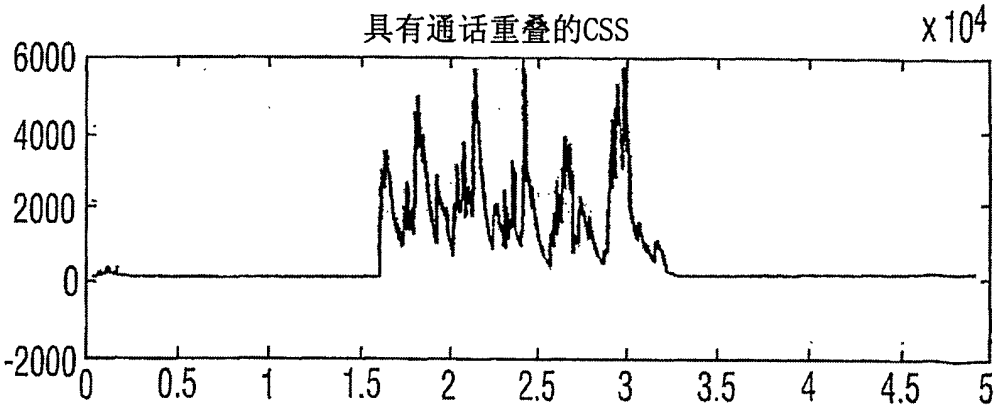


FIG. 2c