

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 3 月 14 日 (14.03.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/047710 A1

(51) 国际专利分类号:
G10L 21/0208 (2013.01) *G10L 21/0232* (2013.01)
G10L 21/0224 (2013.01) *H04M 9/08* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/101491

(22) 国际申请日: 2018 年 8 月 21 日 (21.08.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710800778.4 2017年9月7日 (07.09.2017) CN

(71) 申请人: 电信科学技术研究院有限公司
(CHINA ACADEMY OF TELECOMMUNICATIONS
TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区
学院路40号, Beijing 100191 (CN)。

(72) 发明人: 梁民 (LIANG, Min); 中国北京市海淀区
学院路40号, Beijing 100191 (CN)。

(74) 代理人: 北京银龙知识产权代理有限公司
(DRAGON INTELLECTUAL PROPERTY LAW
FIRM); 中国北京市海淀区西直门北大街32号院
枫蓝国际中心2号楼10层, Beijing 100082 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,
CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,
JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(54) Title: CONTINUOUS UPDATING METHOD AND DEVICE FOR FINITE IMPULSE RESPONSE FILTER COEFFICIENT VECTOR

(54) 发明名称: 有限冲激响应滤波器系数矢量的可持续更新方法及装置

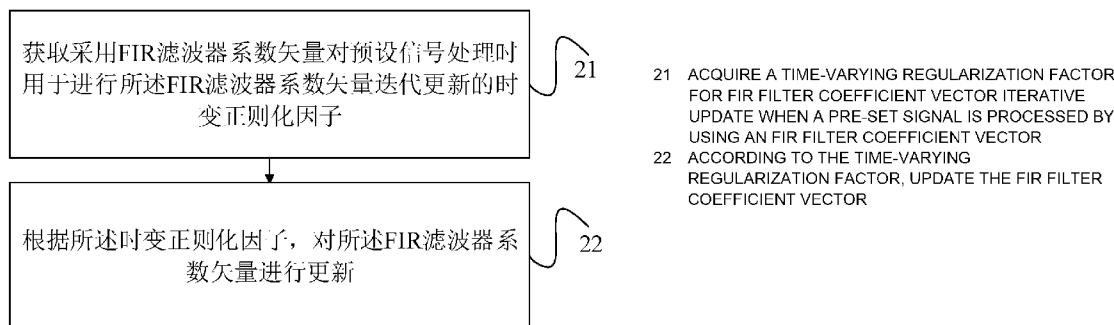


图 2

(57) Abstract: Provided are a continuous updating method and device for a finite impulse response filter coefficient vector. A continuous self-adaptive updating method for a finite impulse response (FIR) filter coefficient vector comprises: acquiring a time-varying regularization factor for FIR filter coefficient vector iterative updating when a pre-set signal is processed by using an FIR filter coefficient vector (21); and according to the time-varying regularization factor, updating the FIR filter coefficient vector (22).

(57) 摘要: 一种有限冲激响应滤波器系数矢量的可持续更新方法及装置。有限冲激响应FIR滤波器系数矢量的可持续自适应更新方法, 包括: 获取采用FIR滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行FIR滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子(21); 根据时变正则化因子, 对FIR滤波器系数矢量进行更新(22)。



WO 2019/047710 A1

有限冲激响应滤波器系数矢量的可持续更新方法及装置

相关申请的交叉引用

本申请主张在 2017 年 9 月 7 日在中国提交的中国专利申请号 No. 201710800778.4 的优先权，其全部内容通过引用包含于此。

技术领域

本公开涉及信号处理技术领域，特别涉及有限冲激响应滤波器系数矢量的可持续更新方法及有限冲激响应滤波器系数矢量的可持续更新装置。

背景技术

声学回声抵消器（AEC）是全双工语音通信系统中一个关键部件，其主要作用是移去由扬声器（喇叭）耦合到麦克风（话筒）中的远端信号的回声信号。在 AEC 中，用一个有限冲激响应（FIR）线性滤波器对回声路径进行自适应地学习建模，并由此合成一个回波的有效估计，然后在麦克风的接收信号中减去该估计，从而完成回波抵消的任务。当近端发话语音信号出现时，由于它与远端语音信号统计上不相关，因而其行为犹如一个突发的噪声，使得这一滤波器的系数更新将偏离实际回波路径所对应的真值而发生发散现象，这便相应地增大了回波残留量，使 AEC 的性能恶化。鉴于此，人们首先需要用“双讲”检测器（DTD）对麦克风接收信号中是否含有近端发话语音信号（即“双讲”情形）进行及时而准确地检测，在麦克风接收信号中无近端发话语音信号（即“单讲”）情况下，线性滤波器系数的自适应学习持续进行；而在麦克风接收信号中含有近端发话语音信号（即“双讲”）时，线性滤波器系数的自适应学习必须停止进行，以避免在该情况下滤波器系数持续学习所致的发散现象。然而 DTD 的处理延时及其可能的误判均会严重地影响 AEC 滤波器的自适应学习行为，进而影响 AEC 的性能。为此，人们提出许多采用自适应

变步长的学习技术对 FIR 滤波器的系数进行持续的迭代更新。

自适应变步长类学习技术的缺点是对其参数初始化十分敏感；此外，该类技术不适用处理回声抵消应用中有近端（非平稳）发话语音的“双讲”情况。而相关技术中的其他方案，例如广义归一化梯度下降（GNGD）算法，也不能很好地处理有近端（非平稳）发话语音的“双讲”情况。

发明内容

本公开的一些实施例提供一种有限冲激响应滤波器系数矢量的可持续更新方法及装置，以解决相关的 FIR 滤波器的自适应学习方式无法保证 FIR 滤波器性能的稳定性，进而影响信号处理可靠性的问题。

第一方面，本公开的一些实施例提供一种有限冲激响应 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新方法，包括：

获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

可选地，所述预设信号包括：声学回声抵消器 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号、自适应噪声抵消系统中噪声参考信号和系统输入信号、自适应干扰抵消系统中干扰参考信号和系统输入信号、自适应系统辨识中的激励输入信号和待辨识的未知系统输出信号的组合中的一项。

可选地，所述预设信号包括 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号，所述获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子的步骤，包括：

分别获取麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值；

根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值，获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代更

新的时变正则化因子。

可选地，所述麦克风接收信号的功率的获取方式为：

根据公式：

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 \leq \hat{\sigma}_y^2(t-1) \end{cases}$$

得到麦克风接收信号的功率；

其中， $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $y(t)$ 为麦克风接收信号； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； t 为数字信号时间索引序号。

可选地，所述耦合因子的有效估计值的获取方式为：

根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取耦合因子的有效估计值。

可选地，所述根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值的步骤，包括：

根据公式： $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2}$ 获取耦合因子的有偏估计值；

其中， $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭； $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$ ， T_s 为用于进行 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的样本数目，且 $T_s \ll L$ ， L 为FIR滤波器系数的个数； $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的AEC输出的误差信号， $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻AEC输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\bar{w}(t)$ 为FIR滤波器系数矢量， $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻FIR滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地, 所述获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的步骤, 包括:

获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

进一步地, 所述获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值的步骤, 包括:

根据公式: $\hat{r}(t) = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |e(t-t_1)|^2)(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2)}$ 获取 AEC 输出的误差信号

与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; $x(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的远端参考信号; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{r}(t)$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为在 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地, 所述根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方的步骤, 包括:

根据公式： $|\hat{r}_{ex}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{若 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2 \\ |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(t) \leq |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2 \end{cases}$

获取 AEC 输出信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方；

其中， $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，所述根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取耦合因子的有效估计值的步骤，包括：

根据公式： $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{ex}(t)|^2}$ 获取耦合因子的有效估计值；

其中， $\hat{\beta}(t)$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，所述根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值，获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子的步骤，包括：

根据公式：

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{r}_{ex}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取用于 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； L 为 FIR 滤波器系数的个数； $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{ex}(t)|^2}$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，所述根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新的步骤，包括：

根据公式： $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{\text{opt}}(t)]$

应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； $e^*(t)$ 为 $e(t)$ 的复共轭； $e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，所述根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新的步骤，包括：

根据公式：

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{\text{state}}(t)[X_{\text{state}}^H(t)X_{\text{state}}(t) + \delta^{\text{opt}}(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$$

应用仿射投影 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； $X_{\text{state}}(t)$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{\text{state}}(t) = [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$ ； $\vec{x}(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的远端参考信号矢量，且 $t_3=0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{\text{state}}^H(t)$ 为 $X_{\text{state}}(t)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{e}^*(t)$ 为 $\vec{e}(t)$ 的复共轭，且 $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{\text{state}}^H(t)\vec{w}(t)$ ； $\vec{e}(t)$ 为 P 维误差矢量； $\vec{y}(t)$ 为 P 维麦克风接收信号矢量，且

$\vec{y}(t) = [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$; $y(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的麦克风接收信号; $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

具体地, 所述预设信号包括 AEC 中输入的近端麦克风接收的语音信号的子带谱和远端参考语音信号的子带谱, 所述 FIR 滤波器系数矢量为子带域 FIR 滤波器系数矢量, 所述时变正则化因子为子带域时变正则化因子, 所述获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子的步骤, 包括:

分别获取麦克风接收信号子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值;

根据所述麦克风接收信号子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值, 获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的子带域时变正则化因子。

可选地, 所述麦克风接收信号子带功率谱的获取方式为:

根据公式:

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 \leq \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \end{cases} \quad \text{得到麦克风接收信号子带功率谱;}$$

其中, $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号子带功率谱; $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱; α_a 和 α_d 为预设的递归常量, 且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 所述子带域耦合因子的有效估计值的获取方式包括:

根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值;

获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子;

根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取子带域耦

合因子的有效估计值。

可选地,所述根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值的步骤,包括:

$$\text{根据公式: } \hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2|^2} \text{ 获取子带域耦合因子的}$$

的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭; $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的信号帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱; $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$; $X(k, n-n2)$ 为在 $n-n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量, $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数, $n2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

可选地,所述获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的步骤,包括:

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值,获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方,并将此作为子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

可选地, 所述获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值的步骤包括:

$$\text{根据公式: } \hat{r}(k, n) = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{(\sum_{n1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n1)|^2)(\sum_{m=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2)}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值; $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭; $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{r}(k, n)$ 估计时所使用的帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱; $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$; $X(k, n-n2)$ 为在 $n-n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量, $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数, $n2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 所述根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方的步骤, 包括:

根据公式:

$$|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(k, n) \leq |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方;

其中, $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方; $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 所述根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取子带域耦合因子的有效估计值的步骤, 包括:

根据公式: $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 获取子带域耦合因子的有效估计值;

其中, $\hat{\beta}(k, n)$ 为子带域耦合因子的有效估计值, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 所述根据所述麦克风接收信号子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值, 获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子的步骤, 包括:

根据公式:

$$\delta^{\text{opt}}(k, n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n)}{\hat{\beta}(k, n) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n) |\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子;

其中, $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子; $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号子带功率谱; $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 为子带域耦合因子的有效估计值, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方; $\delta_{\min}$ 为预设小实常量, 且 $\delta_{\min} > 0$; ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数, 且 $\rho > 0$, $\rho_0 > 0$; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 所述根据所述时变正则化因子, 对所述 FIR 滤波器系数矢量进

行更新的步骤，包括：

根据公式：

$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n)E^*(k,n)/[\vec{X}_k^H(n)\vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k,n)]$ 应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量， $\vec{X}_k(n) = [X(k,n), X(k,n-1), \dots, X(k,n-L_s+1)]^T$ ； $X(k,n-n_2)$ 为第 $n-n_2$ 信号帧时刻远端参考信号子带谱； $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数， T 为转置运算符； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $E^*(k,n)$ 为 $E(k,n)$ 的复共轭； $E(k,n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱，且 $E(k,n) = Y(k,n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$ ； $Y(k,n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\vec{W}_k(n) = [W_0(k,n), W_1(k,n), \dots, W_{L_s-1}(k,n)]^T$ ； $W_{n_2}(k,n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数； $\delta^{\text{opt}}(k,n)$ 为子带域时变正则化因子； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

可选地，所述根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新的步骤，包括：

根据公式：

$$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k,n) \cdot [X_{\text{state}}^H(k,n)X_{\text{state}}(k,n) + \delta^{\text{opt}}(k,n) \cdot \mathbf{I}_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n)$$

应用仿射投影 AP 算法对子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{\text{opt}}(k,n)$ 为子带域时变正则化因子； $X_{\text{state}}(k,n)$ 为子带 k 中 $L \times P$ 维

状态矩阵, 且 $X_{\text{state}}(k, n) = [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$; $\vec{X}_k(n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱矢量, 且 $n_3 = 0, 1, \dots, P-1$, P 为 AP 算法的阶数; $X_{\text{state}}^H(k, n)$ 为 $X_{\text{state}}(k, n)$ 的共轭转置矩阵; $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵; $\vec{E}_k^*(n)$ 为 $\vec{E}_k(n)$ 的复共轭, 且 $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n) \vec{W}_k(n)$; $\vec{E}_k(n)$ 为 P 维误差信号子带谱矢量; $\vec{Y}_k(n)$ 为 P 维麦克风接收信号子带谱矢量, 且 $\vec{Y}_k(n) = [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$; $Y(k, n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的麦克风接收信号; $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数, $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

第二方面, 本公开的一些实施例还提供一种有限冲激响应 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新装置, 包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序; 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子;

根据所述时变正则化因子, 对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

具体地, 所述预设信号包括: 声学回声抵消器 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号、自适应噪声抵消系统中噪声参考信号和系统输入信号、自适应干扰抵消系统中干扰参考信号和系统输入信号、自适应系统辨识中的激励输入信号和待辨识的未知系统输出信号的组合对中的一项目。

可选地, 所述预设信号包括 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

分别获取麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值;

根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值,获取采用FIR滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述FIR滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子。

可选地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式:

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 \leq \hat{\sigma}_y^2(t-1) \end{cases}$$

得到麦克风接收信号的功率;

其中, $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率; $y(t)$ 为麦克风接收信号; α_a 和 α_d 为预设的递归常量, 且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$; t 为数字信号时间索引序号。

可选地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值;

获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子;

根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取耦合因子的有效估计值。

可选地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式: $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2}$ 获取耦合因子的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为FIR滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的AEC输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻AEC输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为FIR滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$,

$w_{t2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 $t2+1$ 个系数, $t2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

可选地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式: $\hat{r}(t) = \frac{|\sum_{t1=0}^{Ts-1} e(t-t1)x^*(t-t1)|^2}{(\sum_{t1=0}^{Ts-1} |e(t-t1)|^2)(\sum_{t1=0}^{Ts-1} |x(t-t1)|^2)}$ 获取 AEC 输出的误差信号

与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; $x(t-t1)$ 为在 $t-t1$ 信号样本时刻的远端参考信号; $x^*(t-t1)$ 为 $x(t-t1)$ 的复共轭; $t1 = 0, 1, 2, \dots, Ts-1$, T_s 为用于进行 $\hat{r}(t)$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t1)$ 为在 $t-t1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t2)$ 为在 $t-t2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t2}(t)$ 为在 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 $t2+1$ 个系数, $t2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式: $|\hat{r}_{ex}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{若 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2 \\ |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(t) \leq |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2 \end{cases}$

获取 AEC 输出信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方；

其中， $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式： $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{ex}(t)|^2}$ 获取耦合因子的有效估计值；

其中， $\hat{\beta}(t)$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{r}_{ex}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取用于 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； L 为 FIR 滤波器系数的个数； $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{ex}(t)|^2}$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式： $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{\text{opt}}(t)]$

应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR

滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\delta^{opt}(t)$ 为时变正则化因子； $e^*(t)$ 为 $e(t)$ 的复共轭； $e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{state}(t)[X_{state}^H(t)X_{state}(t) + \delta^{opt}(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$$

应用仿射投影 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{opt}(t)$ 为时变正则化因子； $X_{state}(t)$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{state}(t) = [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$ ； $\vec{x}(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的远端参考信号矢量，且 $t_3=0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{state}^H(t)$ 为 $X_{state}(t)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{e}^*(t)$ 为 $\vec{e}(t)$ 的复共轭，且 $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{state}^H(t)\vec{w}(t)$ ； $\vec{e}(t)$ 为 P 维误差矢量； $\vec{y}(t)$ 为 P 维麦克风接收信号矢量，且 $\vec{y}(t) = [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$ ； $y(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，所述预设信号包括 AEC 中输入的近端麦克风接收的语音信号的子带谱和远端参考语音信号的子带谱，所述 FIR 滤波器系数矢量为子带域 FIR 滤波器系数矢量，所述时变正则化因子为子带域时变正则化因子，计算机程

序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

分别获取麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值;

根据所述麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值, 获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子。

可选地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式:

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 \leq \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \end{cases} \quad \text{得到麦克风接收信号的子带功率谱;}$$

其中, $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号的子带功率谱; $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱; α_a 和 α_d 为预设的递归常量, 且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值;

获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子;

根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取子带域耦合因子的有效估计值。

可选地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

$$\text{根据公式: } \hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2|^2} \quad \text{获取子带域耦合因子的有偏估计值;}$$

其中, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭; $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的信号帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个

数； $E(k, n - n_1)$ 为在 $n - n_1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱； $E(k, n) = Y(k, n) - \bar{X}_k^H(n) \bar{W}_k(n)$ ， $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\bar{X}_k^H(n)$ 为 $\bar{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $\bar{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量，且 $\bar{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n - 1), \dots, X(k, n - L_s + 1)]^T$ ； $X(k, n - n_2)$ 为在 $n - n_2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱； T 为转置运算符； $\bar{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量， $\bar{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数， $n_2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值；

根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值，获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方，并将此作为子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

$$\text{根据公式：}\hat{f}(k, n) = \frac{|\sum_{n_1=0}^{N_s-1} E(k, n-n_1)X^*(k, n-n_1)|^2}{(\sum_{n_1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n_1)|^2)(\sum_{m=0}^{N_s-1} |X(k, n-n_1)|^2)}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值；

其中， $\hat{f}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值； $X^*(k, n - n_1)$ 为 $X(k, n - n_1)$ 的复共轭； $n_1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$ ， N_s 为用于进行 $\hat{f}(k, n)$ 估计时所使用的帧数目，且 $N_s \ll L_s$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数； $E(k, n - n_1)$ 为在 $n - n_1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱； $E(k, n) = Y(k, n) - \bar{X}_k^H(n) \bar{W}_k(n)$ ， $E(k, n)$ 为在 n 信号帧

时刻 AEC 输出误差信号子带谱； $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量，且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ ； $X(k, n-n_2)$ 为在 $n-n_2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱； T 为转置运算符； $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量， $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数， $n_2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(k, n) \leq |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方；

其中， $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值； n 为信号帧时间索引变量。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式： $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 获取子带域耦合因子的有效估计值；

其中， $\hat{\beta}(k, n)$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； n 为信号帧时间索引变量。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\delta^{\text{opt}}(k, n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n)}{\hat{\beta}(k, n) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n) |\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号子带功率谱； $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2}$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； n 为信号帧时间索引变量。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n)E^*(k, n)/[\vec{X}_k^H(n)\vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k, n)]$ 应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量， $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ ； $X(k, n-n_2)$ 为第 $n-n_2$ 信号帧时刻远端参考信号子带谱； $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数， T 为转置运算符； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $E^*(k, n)$ 为 $E(k, n)$ 的复共轭； $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱，且 $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$ ； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数； $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

可选地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\begin{aligned} \vec{W}_k(n+1) = & \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k, n) \\ & \cdot [X_{\text{state}}^H(k, n)X_{\text{state}}(k, n) + \delta^{\text{opt}}(k, n) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n) \end{aligned}$$

应用仿射投影 AP 算法对子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $X_{\text{state}}(k, n)$ 为子带 k 中 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{\text{state}}(k, n) = [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$ ； $\vec{X}_k(n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱矢量，且 $n_3 = 0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{\text{state}}^H(k, n)$ 为 $X_{\text{state}}(k, n)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{E}_k^*(n)$ 为 $\vec{E}_k(n)$ 的复共轭，且 $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n)\vec{W}_k(n)$ ； $\vec{E}_k(n)$ 为 P 维误差信号子带谱矢量； $\vec{Y}_k(n)$ 为 P 维麦克风接收信号子带谱矢量，且 $\vec{Y}_k(n) = [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$ ； $Y(k, n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的麦克风接收信号； $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数， $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

第三方面，本公开的一些实施例还提供一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其中，所述计算机程序被处理器执行时所述处理器实现以下步骤：

获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

第四方面，本公开的一些实施例还提供一种有限冲激响应 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新装置，包括：

获取模块，用于获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

更新模块，用于根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

可选地，所述预设信号包括 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号，所述获取模块包括：

第一获取单元，用于分别获取麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值；

第二获取单元，用于根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值，获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子。

可选地，所述第一获取单元中所述麦克风接收信号的功率的获取方式为：根据公式：

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 \leq \hat{\sigma}_y^2(t-1) \end{cases}$$

得到麦克风接收信号的功率；

其中， $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $y(t)$ 为麦克风接收信号； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； t 为数字信号时间索引序号。

可选地，所述第一获取单元中所述耦合因子的有效估计值的获取方式为：根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取耦合因子的有效估计值。

可选地，所述根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值的方式为：

根据公式： $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2}$ 获取耦合因子的有偏估计值；

其中, $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地, 所述获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的方式为:

获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

可选地, 所述获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值的方式为:

根据公式: $\hat{r}(t) = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |e(t-t_1)|^2)(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2)}$ 获取 AEC 输出的误差信号

与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; $x(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的远端参考信号; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{r}(t)$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号

样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为在 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地, 所述根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方的方式为:

$$\text{根据公式: } |\hat{r}_{ex}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{若 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2 \\ |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(t) \leq |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方;

其中, $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方; $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地, 所述根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取耦合因子的有效估计值的方式为:

$$\text{根据公式: } \hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{ex}(t)|^2} \text{ 获取耦合因子的有效估计值;}$$

其中, $\hat{\beta}(t)$ 为耦合因子的有效估计值; $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方; t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地, 所述第二获取单元用于:

根据公式:

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取用于 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； L 为 FIR 滤波器系数的个数； $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，所述更新模块用于：

根据公式： $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{\text{opt}}(t)]$

应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； $e^*(t)$ 为 $e(t)$ 的复共轭； $e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地，所述更新模块用于：

根据公式：

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{\text{state}}(t)[X_{\text{state}}^H(t)X_{\text{state}}(t) + \delta^{\text{opt}}(t) \cdot \mathbf{I}_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$$

应用仿射投影 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中, $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子; $X_{\text{state}}(t)$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵, 且 $X_{\text{state}}(t) = [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$; $\vec{x}(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的远端参考信号矢量, 且 $t_3 = 0, 1, \dots, P-1$, P 为 AP 算法的阶数; $X_{\text{state}}^H(t)$ 为 $X_{\text{state}}(t)$ 的共轭转置矩阵; $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵; $\vec{e}^*(t)$ 为 $\vec{e}(t)$ 的复共轭, 且 $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{\text{state}}^H(t) \vec{w}(t)$; $\vec{e}(t)$ 为 P 维误差矢量; $\vec{y}(t)$ 为 P 维麦克风接收信号矢量, 且 $\vec{y}(t) = [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$; $y(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的麦克风接收信号; $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2 = 0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

可选地, 所述预设信号包括 AEC 中输入的近端麦克风接收的语音信号的子带谱和远端参考语音信号的子带谱, 所述 FIR 滤波器系数矢量为子带域 FIR 滤波器系数矢量, 所述时变正则化因子为子带域时变正则化因子, 所述获取模块包括:

第三获取单元, 用于分别获取麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值;

第四获取单元, 用于根据所述麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值, 获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的子带域时变正则化因子。

可选地, 所述第三获取单元中所述麦克风接收信号的子带功率谱的获取方式为:

根据公式:

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) =$$

$$\begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 \leq \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \end{cases} \quad \text{得到 麦}$$

克风接收信号的子带功率谱;

其中, $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号的子带功率谱; $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱; α_a 和 α_d 为预设的递归常量, 且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 所述第三获取单元中所述子带域耦合因子的有效估计值的获取方式包括:

根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值;

获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子;

根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取子带域耦合因子的有效估计值。

可选地, 所述根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值的方式为:

$$\text{根据公式: } \hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2|} \quad \text{获取子带域耦合因子的}$$

的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭; $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的信号帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱; $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$; $X(k, n-n2)$ 为在 $n-n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量,

$\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数, $n2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 所述获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的方式为:

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

可选地, 所述获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值的方式为:

$$\text{根据公式: } \hat{r}(k, n) = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{(\sum_{n1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n1)|^2)(\sum_{m=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2)}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值; $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭; $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{r}(k, n)$ 估计时所使用的帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱; $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$; $X(k, n-n2)$ 为在 $n-n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数

矢量, $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数, $n2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 所述根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方的方式为:

根据公式:

$$|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(k, n) \leq |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方;

其中, $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方; $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 所述根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取子带域耦合因子的有效估计值的方式为:

根据公式: $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 获取子带域耦合因子的有效估计值;

其中, $\hat{\beta}(k, n)$ 为子带域耦合因子的有效估计值, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方; n 为信号帧时间索引变量。

可选地, 所述第四获取单元用于:

根据公式:

$$\delta^{\text{opt}}(k, n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n)}{\hat{\beta}(k, n) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n) |\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子

带域 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的子带域时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号的子带功率谱； $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2}$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； n 为信号帧时间索引变量。

可选地，所述更新模块用于：

根据公式：

$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n)E^*(k, n)/[\vec{X}_k^H(n)\vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k, n)]$ 应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量， $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ ； $X(k, n-n_2)$ 为第 $n-n_2$ 信号帧时刻远端参考信号子带谱； $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数， T 为转置运算符； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $E^*(k, n)$ 为 $E(k, n)$ 的复共轭； $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱，且 $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$ ； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数； $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

可选地，所述更新模块用于：

根据公式：

$$\begin{aligned}\vec{W}_k(n+1) = & \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k, n) \\ & \cdot [X_{\text{state}}^H(k, n)X_{\text{state}}(k, n) + \delta^{\text{opt}}(k, n) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n)\end{aligned}$$

应用仿射投影 AP 算法对子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $X_{\text{state}}(k, n)$ 为子带 k 中 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{\text{state}}(k, n) = [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$ ； $\vec{X}_k(n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱矢量，且 $n_3=0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{\text{state}}^H(k, n)$ 为 $X_{\text{state}}(k, n)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{E}_k^*(n)$ 为 $\vec{E}_k(n)$ 的复共轭，且 $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n)\vec{W}_k(n)$ ； $\vec{E}_k(n)$ 为 P 维误差信号子带谱矢量； $\vec{Y}_k(n)$ 为 P 维麦克风接收信号子带谱矢量，且 $\vec{Y}_k(n) = [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$ ； $Y(k, n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的麦克风接收信号； $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数， $n_2=0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

本公开的有益效果是：

上述方案，通过获取用于进行 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子，依据该时变正则化因子对 FIR 滤波器系数矢量进行持续自适应更新，以此，保证了 FIR 滤波器性能的稳定性，提高了信号处理的可靠性。

附图说明

图 1 表示 AEC 的工作原理示意图；

图 2 表示本公开的一些实施例的 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新方法的流程图；

图 3 表示时域 LAEC 的结构示意图；

图 4 表示子带域 AEC 的结构示意图；

图 5 表示子带 k 的 LAEC 结构示意图；

图 6 表示本公开的一些实施例的 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新装置的结构示意图；以及

图 7 表示本公开的一些实施例的 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新装置的模块示意图。

具体实施方式

为使本公开的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图及具体实施例对本公开进行详细描述。

AEC 的工作原理如图 1 所示，它通常包含线性回声抵消器（LAEC）、“双讲”检测器（DTD）和非线性残留回声抑制器（RES）3 个处理模块，LAEC 利用 FIR 线性滤波器和下行链路信号（即参考信号，用 $x(t)$ 表示）来对回声信号（用 $d(t)$ 表示）进行估计，然后把该估计（用 $\hat{d}(t)$ 表示）从麦克风接收信号（用 $y(t)$ 表示）中减去；FIR 滤波器的系数通常仅在“单讲”（即无近端发话信号（用 $s(t)$ 表示））情况下由误差信号（用 $e(t)$ 表示）按回声消除（NLMS）算法来自适应地更新，用公式一表示为：

$$\text{公式一： } e(t) = y(t) - \vec{x}^T(t) \vec{w}(t)$$

$$\text{其中，公式二： } \vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \frac{e(t) \vec{x}(t)}{\vec{x}^T(t) \vec{x}(t) + \delta}$$

其中， $\vec{w}(t)$ 表示 t 时刻 FIR 滤波器的系数矢量，且 $\vec{w}(t) = [w_0(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ； $\vec{x}(t)$ 表示 t 时刻参考信号延时线矢量，且 $\vec{x}(t) = [x(t), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； μ 为常量学习率参数； δ 为一小正常量的正则化因子参数； L 为滤波器系数的个数。

在“双讲”（即有近端发话信号（ $s(t)$ ））的情况下，FIR 滤波器的系数更新将被冻结以避免 NLMS 学习算法发散；“双讲”的检测由 DTD 来完成。由于

下行链路扬声器和上行链路麦克风的非线性，使得 LAEC 仅能抵消麦克风接收信号（ $y(t)$ ）中回声信号的线性分量，而其残留的非线性分量将由后续的残留回声抑制（RES）模块来做抑制处理。

上述指出，AEC 的 FIR 滤波器系数自适应更新必须仅在无近端发话语音信号的条件（即“单讲”模式）进行；在有近端发话语音信号的条件（即“双讲”模式），其系数的自适应更新必须停止以免滤波器系数的发散而造成对近端发话语音信号的损伤。“双讲”模式的检测通常由 DTD 来完成，然而 DTD 的处理延时及其可能的误判均会严重地影响 AEC 滤波器的自适应学习行为，进而影响 AEC 的性能。为此，人们提出许多采用自适应变步长的学习技术对 FIR 滤波器的系数进行持续的迭代更新，这类技术均使用一个学习率变量（即变步长参数），该学习率变量是根据 AEC 的代价函数对其梯度来自适应调节的，其缺点是对算法相关参数的初始化十分敏感，并且仅适用于平稳输入信号，因而在实际应用特别是回声抵消的应用中难以获得良好的性能。于是人们又提出了一种称之为广义归一化梯度下降（GNGD）算法以克服上述的不足，如公式三至公式五所示：

$$\text{公式三: } \vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \frac{e(t)\vec{x}(t)}{\vec{x}^T(t)\vec{x}(t)+\delta(t)} = \vec{w}(t) + \eta(t)e(t)\vec{x}(t) ;$$

$$\text{公式四: } \eta(t) = \frac{\mu}{\vec{x}^T(t)\vec{x}(t)+\delta(t)};$$

$$\text{公式五: } \delta(t) = \delta(t-1) - \rho_1 \mu \frac{e(t)e(t-1)[\vec{x}^T(t)\vec{x}(t-1)]}{[\vec{x}^T(t-1)\vec{x}(t-1)+\delta(t-1)]^2};$$

其中， $\eta(t)$ 为学习率； $\delta(t)$ 为学习率控制参数； ρ_1 为 $\delta(t)$ 的自适应迭代步长参数。

尽管 GNGD 算法对其相关参数的初始化不敏感，但其学习率（ $\eta(t)$ ）的控制参数（ $\delta(t)$ ）是基于 NLMS 随机梯度的行为特征来自适应调节的，因而它仅能进行相对较慢的自适应调节（通常需要数十或数百个样本）。正因如此，GNGD 算法也不能很好地处理有近端（非平稳）发话语音的“双讲”情况。

鉴于上述情况，本公开针对相关的 FIR 滤波器的自适应学习方式无法保

证 FIR 滤波器性能的稳定性，影响信号处理可靠性的问题，提供一种有限冲激响应滤波器系数矢量的可持续更新方法及装置。

如图 2 所示，本公开的一些实施例提供一种有限冲激响应 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新方法，包括步骤 21-22。

步骤 21，获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子。

需要说明的是，该预设信号包括：声学回声抵消器 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号、自适应噪声抵消系统中噪声参考信号和系统输入信号、自适应干扰抵消系统中干扰参考信号和系统输入信号、自适应系统辨识中的激励输入信号和待辨识的未知系统输出信号的组合中的一项。

步骤 22，根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

上述方案，通过获取用于进行 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子，依据该时变正则化因子对 FIR 滤波器系数矢量进行持续自适应更新，以此，保证了 FIR 滤波器性能的稳定性，提高了信号处理的可靠性。

下面以对 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号进行处理为例，分别从时域和子带域出发，对本公开说明如下。

一、时域

对图 2 所示的时域 LAEC，本公开主要讨论其对“双讲”和回声路径变化具有良好鲁棒性（Robustness）的持续性自适应学习问题，提出了一种用于时域 LAEC 自适应学习的时变正则化因子实时在线计算方法，用该时变正则化因子构成的 LAEC 中 FIR 滤波器系数矢量自适应迭代更新算法对“双讲”和回声路径变化具有良好鲁棒性。首先以时域 LAEC 自适应学习的归一化最小均方（NLMS）算法为例，来详细阐述实时在线求解该时变正则化因子的方法，然后将该时变正则化因子应用到 LAEC 持续性自适应学习中，并分别给出了

一种时变正则化因子的 NLMS 算法和一种时变正则化因子的仿射投影 (AP) 算法。

参考如图 2 所示的时域 LAEC, 假设其中涉及到的时域信号均为复信号, 其 t 时刻的 FIR 滤波器系数矢量 (或 FIR 滤波器复系数矢量) 用公式六表示为:

$$\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T;$$

其中, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; L 为 FIR 滤波器系数的个数; T 为转置运算符; t 为数字信号样本时间索引序号。

那么 FIR 滤波器系数更新的 NLMS 学习算法可用公式七和公式八表述为:

$$e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t); \quad \vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta];$$

其中, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 符号 $*$ 代表取复共轭运算; H 为复共轭转置运算符; $0 < \mu < 2$ 为预定的系数更新步长参数, $\delta > 0$ 为一个称为“正则化因子”的小正实常数以避免公式八的分母为零。

具体地, $\vec{x}(t)$ 用公式九表示为: $\vec{x}(t) \triangleq [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$;

其中, $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号。

$y(t)$ 由公式十定义: $y(t) = d(t) + s(t)$;

其中, $d(t)$ 为 t 时刻回声信号; $s(t)$ 为 t 时刻近端发话语音信号。

鉴于自适应滤波器系数的迭代步长可以通过一个“时变”正则化因子 $\delta(t)$ 参数来加以控制, 那么这一“时变”正则化因子参数 $\delta(t)$ 必须能够实时在线地计算求解出来。事实上, 设子 FIR 滤波器理想复系数矢量为 $\vec{h}(t)$, 其估计为 $\vec{w}(t)$, 则滤波器系统适配矢量利用公式十一定义为:

$$\vec{\Delta}(t) \triangleq \vec{h}(t) - \vec{w}(t) \triangleq [\Delta_0(t), \Delta_1(t), \dots, \Delta_{L-1}(t)]^T$$

那么 LAEC 的输出的误差 $e(t)$ 可由公式十二表达为:

$$e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t) = \epsilon(t) + s(t)$$

其中 $\epsilon(t) \triangleq \bar{x}^H(t)\bar{\Delta}(t)$ 定义为 LAEC 无畸变误差或滤波器的系统误差（即残留回声）。

那么 $\delta(t)$ 的选择必须使得下述变量最小化，即有公式十三：

$$E\{\|\bar{\Delta}(t)\|_2^2\} = E\{\bar{\Delta}^H(t)\bar{\Delta}(t)\} \rightarrow \min$$

这里 $E\{\cdot\}$ 为统计平均运算符， $\|\cdot\|_2$ 为复矢量的 2 范数。根据公式八，用 $\delta(t)$ 替换 δ 得到公式十四： $\bar{\Delta}(t+1) = \bar{\Delta}(t) - \mu \cdot \bar{x}(t)e^*(t)/[\bar{x}^H(t)\bar{x}(t) + \delta(t)]$ 。

进一步地，对公式十四利用复矢量的 2 范数得到公式十五： $\|\bar{\Delta}(t+1)\|_2^2 =$

$$\begin{aligned} & \|\bar{\Delta}(t)\|_2^2 - \frac{\mu \cdot \{2|\epsilon(t)|^2 + s(t)\epsilon^*(t) + s^*(t)\epsilon(t)\}}{\|\bar{x}(t)\|_2^2 + \delta(t)} + \frac{\mu^2 \|\bar{x}(t)\|_2^2 \cdot |e(t)|^2}{[\|\bar{x}(t)\|_2^2 + \delta(t)]^2} \\ & \approx \|\bar{\Delta}(t)\|_2^2 - \frac{\mu \cdot \{2|\epsilon(t)|^2 + s(t)\epsilon^*(t) + s^*(t)\epsilon(t)\}}{L\sigma_x^2(t) + \delta(t)} + \frac{\mu^2 L\sigma_x^2(t) \cdot |e(t)|^2}{[L\sigma_x^2(t) + \delta(t)]^2} \end{aligned}$$

其中， $\sigma_x^2(t)$ 用公式十六表示为： $\sigma_x^2(t) = E\{|x(t)|^2\}$ 。

假设 $s(t)$ 与 $x(t)$ 不相关，则公式十五两边取统计平均可得公式十七：

$$E\{\|\bar{\Delta}(t+1)\|_2^2\} = E\{\|\bar{\Delta}(t)\|_2^2\} - \frac{2\mu\sigma_\epsilon^2(t)}{L\sigma_x^2(t) + \delta(t)} + \frac{\mu^2 L\sigma_x^2(t) \cdot \sigma_\epsilon^2(t)}{[L\sigma_x^2(t) + \delta(t)]^2}$$

进一步地，定义公式十八和公式十九：

公式十八： $\sigma_\epsilon^2(t) \triangleq E\{|\epsilon(t)|^2\}$ ；

公式十九： $\sigma_e^2(t) \triangleq E\{|e(t)|^2\}$ ；

进一步假设第 t 帧的系统适配矢量 $\bar{\Delta}(t)$ 与 $\delta(t)$ 无关，仅与 $\delta(t-1)$ 、 $\delta(t-2)$ 、... 等有关，那么有公式二十：

$$\frac{\partial}{\partial \delta(t)} E\{\|\bar{\Delta}(t+1)\|_2^2\} \approx \frac{2\mu\sigma_\epsilon^2(t)}{[L\sigma_x^2(t) + \delta(t)]^2} - \frac{2\mu^2 L\sigma_x^2(t) \cdot \sigma_\epsilon^2(t)}{[L\sigma_x^2(t) + \delta(t)]^3}$$

置公式二十为零，则得到最优的正则化因子 $\delta^{\text{opt}}(t)$ 用公式二十一表示为：

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \frac{L \cdot \sigma_x^2(t) [\mu\sigma_\epsilon^2(t) - \sigma_\epsilon^2(t)]}{\sigma_\epsilon^2(t)}$$

进一步假设 $L \gg 1$ ，并且 $x(t)$ 为白化的激励信号（如不是的话，可通过白化处理将它变为白化的激励源），那么有如下公式：

$$\text{公式二十二: } \sigma_{\epsilon}^2(t) = E\{|\epsilon(t)|^2\} = \sigma_x^2(t)E\{\|\vec{\Delta}(t)\|_2^2\}$$

$$\text{公式二十三: } \sigma_e^2(t) = \sigma_{\epsilon}^2(t) + \sigma_s^2(t) \text{ , 这里 } \sigma_s^2(t) \triangleq E\{|s(t)|^2\}$$

不妨取 $\mu = 1$ ，则公式二十一可用公式二十四表示为：

$$\text{公式二十四: } \delta^{\text{opt}}(t) = \frac{L \cdot \sigma_x^2(t) [\mu \sigma_{\epsilon}^2(t) - \sigma_{\epsilon}^2(t) + \sigma_s^2(t)]}{\sigma_x^2(t) E\{\|\vec{\Delta}(t)\|_2^2\}} = \frac{L [\sigma_y^2(t) - \sigma_d^2(t)]}{E\{\|\vec{\Delta}(n)\|_2^2\}}$$

其中，公式二十四中 $\sigma_y^2(t) \triangleq E\{|y(t)|^2\}$ 为 t 时刻麦克风接收信号的功率， $\sigma_d^2(t) \triangleq E\{|d(t)|^2\}$ 为 t 时刻回声信号的功率。既然回声信号的功率 $\sigma_d^2(t)$ 不可直接获取，那么为便于工程实现，本公开将公式二十四简化为：

$$\text{公式二十五: } \delta^{\text{opt}}(t) \approx \frac{L \cdot \sigma_y^2(t)}{E\{\|\vec{\Delta}(t)\|_2^2\}}$$

作为一个滤波器系数矢量更新迭代步长的控制变量 $\delta^{\text{opt}}(t)$ ，可用公式二十五估计得到，虽然在有回声的情况下略微地过于抑制（over-suppress）了滤波器系数的自适应迭代，但在较高电平的近端发话语音信号出现时，仍能达到减慢滤波器系数矢量更新迭代的期望效果。 $\sigma_y^2(t)$ 的工程化计算可以通过一阶递归模型来实时在线地实现，考虑到 $\sigma_y^2(t)$ 必须及时地跟踪近端发话语音信号电平的变化，那么本公开用下述“快升慢降”（fast attack/slow decay）的方式实时在线地估计变量 $\sigma_y^2(t)$ ，即有公式二十六：

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{否则} \end{cases}$$

其中，其中 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ 为预设的递归常数。

此外，公式二十五还涉及到参数 $E\{\|\vec{\Delta}(t)\|_2^2\}$ 的估计，该参数的估计实际上就是一个回声耦合因子 $\beta(t)$ 的估计问题。在“单讲”的情况下，该耦合因子 $\beta(t)$ 按其定义，可直接用下面的公式二十七来估计，即：

$$\beta(t)|_{\text{直接法}} \triangleq \frac{E\{|\epsilon(t)|^2\}}{E\{|x(t)|^2\}} \xleftrightarrow{\text{单讲模式}} \frac{E\{|e(t)|^2\}}{E\{|x(t)|^2\}}$$

显然，公式二十七不能应用于“双讲”的情况，在“双讲”场景下，为克服

近端语音 $s(t)$ 的影响，我们提出用互相关技术来估计耦合因子 $\beta(t)$ ，即有公式

$$\text{二十八: } \beta(t)|_{\text{互相关法}} \triangleq \frac{|E\{e(t)x^*(t)\}|^2}{[E\{|x(t)|^2\}]^2} = \frac{|E\{\epsilon(t)x^*(t)\}|^2}{[E\{|x(t)|^2\}]^2}。$$

尽管公式二十八利用近端信号 $s(t)$ 与参考信号 $x(t)$ 间的统计不相关性来去除近端语音 $s(t)$ 的影响，但这种估计是一个有偏估计，因而存在偏差。为此，我们需要对其作修正补偿，以提高耦合因子 $\beta(t)$ 的估计精度。

$$\text{九: } \frac{\beta(t)|_{\text{互相关法}}}{\beta(t)|_{\text{直接法}}} = \frac{|E\{\epsilon(t)x^*(t)\}|^2}{E\{|\epsilon(t)|^2\} \cdot E\{|x(t)|^2\}} \xleftrightarrow{\text{单讲模式}} \frac{|E\{e(t)x^*(t)\}|^2}{E\{|e(t)|^2\} \cdot E\{|x(t)|^2\}} = |r_{\text{ex}}(t)|^2 \leq 1;$$

其中 $r_{\text{ex}}(t)$ 为 LAEC 输出信号 $e(t)$ 与远端参考信号 $x(n)$ 之间在“单讲”情况下的（归一化）相关系数。公式二十九表明：在“单讲”情况下，用互相关技术估计的 $\beta(t)|_{\text{互相关法}}$ 与用直接法估计的 $\beta(t)|_{\text{直接法}}$ 之比正好是时域 LAEC 输出信号 $e(t)$ 与远端参考信号 $x(t)$ 之间的（归一化）相关系数幅度平方。如果我们能有效地估计出这个相关系数幅度平方，用它来修正补偿互相关法估计的 $\beta(t)|_{\text{互相关法}}$ ，便可提高耦合因子 $\beta(t)$ 的估计精度，即 $E\{\|\vec{\Delta}(t)\|_2^2\}$ 的估计可用

$$\text{公式三十表达为: } \{\|\vec{\Delta}(t)\|_2^2\} \triangleq \beta(t) = \frac{\beta(t)|_{\text{互相关法}}}{|r_{\text{ex}}(t)|^2}。$$

显然，用于估计耦合因子的公式三十不仅适用于“单讲”情况，而且也适用于“双讲”情况，只要能有效地估计出 $e(t)$ 与 $x(t)$ 之间的相关系数幅度平方。如何正确而有效地估计出该相关系数幅度平方，可通过下述的分析讨论来获得相关的启示。注意到这样一个事实：在“单讲”情况下， $|r_{\text{ex}}(t)|^2$ 可以按二十九中的定义来计算，即有公式三十一：

$$|r_{\text{ex}}(t)|^2 = \frac{|E\{e(t)x^*(t)\}|^2}{E\{|e(t)|^2\}E\{|x(t)|^2\}} \xleftrightarrow{\text{单讲情况}} \frac{|E\{\epsilon(t)x^*(t)\}|^2}{E\{|\epsilon(t)|^2\}E\{|x(t)|^2\}}$$

而在“双讲”情况下，记此时相关系数幅度平方的备选值为 $r(t)$ ，则 $r(t)$ 可用公式三十二表示为：

$$r(t) = \frac{|E\{e(t)x^*(t)\}|^2}{E\{|e(t)|^2\}E\{|x(t)|^2\}} \xleftrightarrow{\text{双讲模式}} \frac{|E\{\epsilon(t)x(t)\}|^2}{[E\{|\epsilon(t)|^2\} + E\{|s(t)|^2\}]E\{|x(t)|^2\}} < |r_{\text{ex}}(t)|^2$$

综合考虑公式三十一和公式三十二, $|r_{\text{ex}}(t)|^2$ 的有效估计值 $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$, 可通过下述公式三十三表示, 即:

$$|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{如果 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2 \\ |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2, & \text{否则} \end{cases}$$

在工程实现上, 公式二十八中的 $\beta(t)|_{\text{互相关法}}$ 的估计可近似用公式三十四表示为:

$$\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} \approx \frac{|\sum_{t1=0}^{Ts-1} e(t-t1)x^*(t-t1)|^2}{|\sum_{t1=0}^{Ts-1} |x(t-t1)|^2}。$$

$$\text{公式三十二可用公式三十五表示为: } \hat{r}(t) \approx \frac{|\sum_{t1=0}^{Ts-1} e(t-t1)x^*(t-t1)|^2}{(\sum_{t1=0}^{Ts-1} |e(t-t1)|^2)(\sum_{t1=0}^{Ts-1} |x(t-t1)|^2)}。$$

式中 $T_s \ll L$ 为一个正整数, 它是用来估计公式三十四至公式三十五所使用的样本数目。公式三十、公式三十三至公式三十五构成了一种既可用于“双讲”场景又可用于回声路径变化场景的 $\beta(t) \triangleq E\{\|\vec{\Delta}(t)\|_2^2\}$ 的高精度估计算法, 用该算法求得的 $E\{\|\vec{\Delta}(t)\|_2^2\}$ 估计值代入公式二十五便得到公式三十六:

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0} = \frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}$$

其中 ρ 和 $\rho_0 > 0$ 为很小的实常数以避免公式三十六的分母为零,

$\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}$ 。从公式三十六可以看出: 在“单讲”场景下, $\hat{\sigma}_y^2(t) = \sigma_d^2(t)$, 若此时发生回声路径的变化情况, 那么 $\hat{\sigma}_e^2(t)$ 会迅速增大进而导致 $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2 \approx 1$, 相应地 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 也会迅速增大 (因为此时残留回声信号 $e(t)$ 与远端参考信号 $x(t)$ 强相关), 而 $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 相对而言变化不是太大, 因此导致 $\delta^{\text{opt}}(t)$ 变小, 有利于加速子带 FIR 滤波器系数矢量的更新迭代; 在“双讲”场景下, $\hat{\sigma}_y^2(t) = \sigma_d^2(t) + \sigma_s^2(t)$, 近端发话语音信号的 $\sigma_s^2(t)$ 出现, 使得 $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 迅速变大, 而 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 和 $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 的估计 (参见公式三十三和公式三十四) 对“双讲”具有鲁棒性, 所以其估计的参数值变化不大, 因而导致 $\delta^{\text{opt}}(t)$ 迅速变大, 从而极大地减慢了滤波器系数矢量更新迭代, 避免了滤波器系数矢量更新在“双讲”

情况下发生发散现象。

另一方面,在近端发话语音信号电平较低或无近端发话语音信号条件下,为使滤波器系数矢量更新迭代算法稳定,其正则化因子必须限定为一个小实常数 $\delta_{\min} > 0$ 。因此一个正则化因子的合理在线计算式如公式三十七所示:

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{f}_{\text{ex}}(t)|^2}{|\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

通过上述的推导过程可知,只要获取 $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 、 $|\hat{f}_{\text{ex}}(t)|^2$ 、 $|\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 便可得到时域的 $\delta^{\text{opt}}(t)$,因此,本公开中的步骤 21 的具体实现方式为:

分别获取麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值;

根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值,获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子。

进一步地,所述麦克风接收信号的功率的获取方式为:

根据公式二十六:

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 \leq \hat{\sigma}_y^2(t-1) \end{cases}$$

得到麦克风接收信号的功率;

其中, $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率; $y(t)$ 为麦克风接收信号; α_a 和 α_d 为预设的递归常量,且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$; t 为数字信号时间索引序号。

进一步地,所述耦合因子的有效估计值的获取方式为:

根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值;

获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子;

根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子,获取耦合因子的有效估计值。

进一步地,所述根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值的步骤,包括:

根据公式三十四: $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2}$ 获取耦合因子的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ 。

进一步地, 所述获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的步骤, 包括:

获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

进一步地, 所述获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值的步骤, 包括:

根据公式三十五: $\hat{r}(t) = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |e(t-t_1)|^2)(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2)}$ 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; $x(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的远端参考信号; $x^*(t-t_1)$ 为

$x(t - t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s - 1$, T_s 为用于进行 $\hat{r}(t)$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t - t_1)$ 为在 $t - t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t - 1), \dots, x(t - L + 1)]^T$; $x(t - t_2)$ 为在 $t - t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为在 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 $t_2 + 1$ 个系数, $t_2 = 0, 1, 2, \dots, L - 1$ 。

进一步地, 所述根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方的步骤, 包括:

$$\text{根据公式三十三: } |\hat{r}_{ex}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{若 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{ex}(t - 1)|^2 \\ |\hat{r}_{ex}(t - 1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(t) \leq |\hat{r}_{ex}(t - 1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方;

其中, $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方; $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值。

进一步地, 所述根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取耦合因子的有效估计值的步骤, 包括:

$$\text{根据公式: } \hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{ex}(t)|^2} \text{ 获取耦合因子的有效估计值;}$$

其中, $\hat{\beta}(t)$ 为耦合因子的有效估计值; $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方。

进一步地, 所述根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值, 获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于 FIR 滤波器系数矢

量迭代更新的时变正则化因子的步骤，包括：

根据公式三十六和公式三十七：

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取用于 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子；L为 FIR 滤波器系数的个数； $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ 。

具体地，在使用 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新时，步骤 22 的具体实现方式为：

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{\text{opt}}(t)]$$

应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； $e^*(t)$ 为 $e(t)$ 的复共轭； $e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ 。

将公式三十七定义的时变正则化因子 $\delta^{\text{opt}}(t)$ 应用到时域 LAEC 的 NLMS 自适应学习算法中，可得到一种时域 LAEC 带时变正则化因子的 NLMS 持续

自适应学习算法，该算法对“双讲”和回声路径变化具有良好的鲁棒性；具体的算法实现流程为：

第一步：初始化

1.1、预置参数 $0 < \mu < 2$ 、 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ 、 $\tau \geq 0$ 、 $\rho > 0$ 、

$\delta_{\min}$ 、 L 和 T_s 的值；

1.2、初始化相关变量

$\vec{x}(0) = 0$ ， $\vec{h}(0) = 0$ ， $\hat{\sigma}_y^2(0) = 0$ ， $|\hat{f}_{ex}(t)|^2 = \tau$ ；

1.3、设置信号时间索引变量 t 为零，即 $t = 0$ ；

第二步：在线计算相关变量

2.1、用公式二十六计算 $\hat{\sigma}_y^2(t)$ ；

2.2、用公式七计算 LAEC 的输出 $e(t)$ ；

2.3、用公式三十三和公式三十五计算 $|\hat{f}_{ex}(t)|^2$ ；

2.4、用公式三十四计算 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ ；

第三步：在线计算正则化因子 $\delta_k^{\text{opt}}(t)$

3.1、用公式三十七计算 $\delta^{\text{opt}}(t)$ ；

第四步：更新迭代 FIR 滤波器系数矢量

4.1、用公式 $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{\text{opt}}(t)]$ 计算 FIR 滤波器系数矢量；

第五步：更新信号帧索引变量 t ，即： $t = t + 1$ ，并跳转至第二步。

应该指出的是，公式三十七确定的最优时变正则化因子也同样适用于时域 LAEC 自适应学习的 AP 算法。事实上，时域 LAEC 自适应学习 AP 算法可用公式三十八和公式三十九表征为： $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{\text{state}}^H(t)\vec{w}(t)$ ；

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{\text{state}}(t)[X_{\text{state}}^H(t)X_{\text{state}}(t) + \delta(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)；$$

其中， $\vec{e}(t) \triangleq [e(t), e(t-1), \dots, e(t-P+1)]^T$ 为 P 维误差矢量， $\delta(t)$ 为正则化因子， $\vec{y}(t) \triangleq [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$ 为 P 维麦克风接收信号矢量，

$X_{\text{state}}(t) \triangleq [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$ 为 $L \times P$ 维的状态矩阵, $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵, P 为 AP 算法的阶数。

那么根据公式十一定义的系统适配矢量, 存在公式四十, 即:

$$\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{\text{state}}^H(t) \vec{w}(t) = \vec{e}(t) + \vec{s}(t)$$

其中, 用公式四十一定义 $\vec{e}(t)$, 即: $\vec{e}(t) \triangleq X_{\text{state}}^H(t) \cdot \vec{\Delta}(t)$;

其中, $\vec{e}(t)$ 为 P 维的系统无畸变误差矢量。

用公式四十二定义 $\vec{s}(t)$, 即: $\vec{s}(t) \triangleq [s(t), s(t-1), \dots, s(t-P+1)]^T$;

其中, $\vec{s}(t)$ 为 P 维的近端语音信号矢量。

根据公式三十九容易得到公式四十三, 即:

$$\vec{\Delta}(t+1) = \vec{\Delta}(t) - \mu \cdot X_{\text{state}}(t) [X_{\text{state}}^H(t) X_{\text{state}}(t) + \delta(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$$

假设参考信号 $x(t)$ 为白化激励源, 并且 LAEC 的 FIR 滤波器系数的个数 L 很大即 $L \gg 1$, 那么公式四十三中的逆矩阵可近似由公式四十四表示:

$$[X_{\text{state}}^H(t) X_{\text{state}}(t) + \delta(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \approx \frac{1}{L \cdot \sigma_x^2(t) + \delta(t)} I_{P \times P}$$

这里 $\sigma_x^2(t)$ 由公式十六定义。将公式四十四代入公式四十三得到公式四十五:

$$\vec{\Delta}(t+1) \approx \vec{\Delta}(t) - \mu \cdot X_{\text{state}}(t) \cdot \vec{e}^*(t) / [L \cdot \sigma_x^2(t) + \delta(t)]$$

因而有公式四十六:

$$E \left\{ \left\| \vec{\Delta}(t+1) \right\|_2^2 \right\} \approx E \left\{ \left\| \vec{\Delta}(t) \right\|_2^2 \right\} - \frac{2\mu \cdot P \cdot \sigma_e^2(t)}{L \cdot \sigma_x^2(t) + \delta(t)} + \frac{\mu^2 \cdot L \cdot P \cdot \sigma_x^2(t) \cdot \sigma_e^2(t)}{[L \cdot \sigma_x^2(t) + \delta(t)]^2}$$

其中 $\sigma_e^2(t)$ 和 $\sigma_x^2(t)$ 分别由公式十八和公式十九定义。

不妨取 $\mu = 1$, 将公式四十六对 $\delta(t)$ 取偏导数, 并置该偏导数为零即得最优的 $\delta(t)$, 记其为 $\delta_{\text{AP}}^{\text{opt}}(t)$, 则 $\delta_{\text{AP}}^{\text{opt}}(t)$ 可用公式四十七表示为:

$$\Delta_{\text{AP}}^{\text{opt}}(t) = \frac{L[\sigma_y^2(t) - \sigma_d^2(t)]}{E \left\{ \left\| \vec{\Delta}(n) \right\|_2^2 \right\}}$$

对比公式四十七与公式二十四, 即知由公式三十七确定的最优时变正则化因子同样适用于 AP 算法; 具体地, 在使用 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数

矢量进行持续的自适应更新时，步骤 22 的具体实现方式为：

根据公式：

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{\text{state}}(t) [X_{\text{state}}^H(t) X_{\text{state}}(t) + \delta^{\text{opt}}(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$$

应用仿射投影 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； $X_{\text{state}}(t)$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{\text{state}}(t) = [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$ ； $\vec{x}(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的远端参考信号矢量，且 $t_3 = 0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{\text{state}}^H(t)$ 为 $X_{\text{state}}(t)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{e}^*(t)$ 为 $\vec{e}(t)$ 的复共轭，且 $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{\text{state}}^H(t) \vec{w}(t)$ ； $\vec{e}(t)$ 为 P 维误差矢量； $\vec{y}(t)$ 为 P 维麦克风接收信号矢量，且 $\vec{y}(t) = [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$ ； $y(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2 = 0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

将公式三十七定义的时变正则化因子 $\delta^{\text{opt}}(t)$ 应用到时域 LAEC 的 AP 自适应学习算法中，可得到一种时域 LAEC 带时变正则化因子的 AP 持续自适应学习算法，该算法对“双讲”和回声路径变化具有良好的鲁棒性；具体的算法实现流程为：

第一步：初始化

1.1、预置参数 $0 < \mu < 2$ 、 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ 、 $\tau \geq 0$ 、 $\rho > 0$ 、

$\delta_{\min}$ 、 L 和 T_s 的值；

1.2、初始化相关变量

$$\vec{x}(0) = 0, \vec{h}(0) = 0, \hat{\sigma}_y^2(0) = 0, |\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2 = \tau;$$

1.3、设置信号时间索引变量 t 为零，即 $t = 0$ ；

第二步：在线计算相关变量

2.1、用公式二十六计算 $\hat{\sigma}_y^2(t)$;

2.2、用公式七计算 LAEC 的输出 $e(t)$;

2.3、用公式三十三和公式三十五计算 $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$;

2.4、用公式三十四计算 $\hat{\beta}(t)$ |互相关法;

第三步：在线计算正则化因子 $\delta^{opt}(t)$

3.1、用公式三十七计算 $\delta^{opt}(t)$;

第四步：更新迭代 FIR 滤波器系数矢量

4.1、用公式三十八计算误差矢量 $\vec{e}(t)$;

4.2、用公式 $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{state}(t)[X_{state}^H(t)X_{state}(t) + \delta^{opt}(t) \cdot \mathbf{I}_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$ 计算 FIR 滤波器系数矢量;

第五步：更新信号帧索引变量 t ，即： $t = t + 1$ ，并跳转至第二步。

二、子带域

众所周知，声学路径通常随时间变化较快，由于语言信号的相关性，致使时域 LAEC 的 NLMS 学习算法将收敛很慢，因而不能实时地跟踪其回声路径的变化；此外，在某些应用场合下（例如免提扬声电话），声学回声的路径通常较长，这便加剧了上述的缺陷。尽管时域递归最小二乘（RLS）算法具有很快的收敛速度，但因其计算复杂度很大而无法在目前的商用 DSP 上实现。时域仿射投影（AP）算法在算法收敛速度和其计算复杂度方面进行了一定程度上的折中，但在仿射投影阶数 P 值较大（以便使 AP 算法收敛加快）的情况下，其计算复杂度也难以在目前的商用 DSP 上实现。这便促使人们研究和探索 AEC 的频域实现技术，特别是子带域的现技术。事实上，在子带域中，语音信号和声学回波路径传递函数的某些特性（例如每个子带中回波路径传递函数系数个数及其权值更新率的降低、子带信号动态范围相对其时域信号而言变小等）将有益于自适应学习算法对声学回波路径传递函数进行快速估计和实时跟踪。下面所叙述的内容是将上述讨论的时域 LAEC 时变正则化因

子自适应学习算法的思想应用到子带域 LAEC 的自适应学习问题，提出了子带域 LAEC 自适应学习的时变正则化因子 NLMS 算法和 AP 算法。

子带域 AEC 的结构如图 4 所示，它由分析滤波器组 (AFB)、子带域线性回声抵消器 (LAEC)、子带域残留回声抑制器 (RES) 和合成滤波器组 (SFB) 构成，其中 t 、 n 和 k 分别表示数字信号样本时间、信号帧时间索引变量和子带索引序号 (子带索引序号变量)；AFB 首先分别把来自远端的参时域考信号 $x(t)$ 和近端的时域麦克风信号 $y(t)$ 变换成子带域信号 $X(k,n)$ 和 $Y(k,n)$ 输入给子带域 LAEC 进行线性回声抵消，其输出信号 $E(k,n)$ 经子带域 RES 处理后再由 SFB 变换成时域信号 $\hat{s}(t)$ 。

子带 k 的 LAEC 结构如图 5 所示，其中 k 子带中在 n 信号帧时刻的远端参考信号子带谱为 $X(k,n)$ 、麦克风接收信号子带谱为 $Y(k,n)$ 、近端语音信号子带谱为 $S(k,n)$ 、回声信号子带谱为 $D(k,n)$ ，FIR 滤波器的系数个数为 L_s ，其输出 $\hat{D}(k,n)$ 为回声信号 $D(k,n)$ 的一个线性估计值， k 子带中在 n 信号帧时刻的 FIR 滤波器系数矢量由公式四十八表示为： $\vec{W}_k(n) = [W_0(k,n), W_1(k,n), \dots, W_{L_s-1}(k,n)]^T$ ，其中， k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数。

对比图 3 所示的时域 LAEC 结构和图 5 所示的子带域 LAEC 结构，可以得到如表 1 表示的对应关系：

信号/ 参数的 类别	图 3 所示的时域 LAEC	图 5 所示的子带域 LAEC
远端参考信号	$x(t)$	$X(k,n)$
麦克风接收信号	$y(t)$	$Y(k,n)$
近端语音	$s(t)$	$S(k,n)$

音信号		
回声信号	$d(t)$	$D(k,n)$
回声信号的线性估计	$\hat{d}(t)$	$\hat{D}(k,n)$
输出信号	$e(t)$	$E(k,n)$
残留回声	$\epsilon(t)$	$\epsilon(k,n)$
FIR 滤波器系数个数	L	L_s
FIR 滤波器系数矢量	$\vec{w}(t)$ $= [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$	$\vec{W}_k(n)$ $= [W_0(k,n), W_1(k,n), \dots, W_{L_s-1}(k,n)]^T$

表 1 时域 LAEC 和子带域 LAEC 的参数对应关系表

表 1 表明，子带域 LAEC 在一个固定的 k 子带上，它实际上等价于一个时域 LAEC（沿着信号帧 n 轴向）。由于每个子带之间是互不相关的，那么对于一个给定的子带 k ，我们可以直接应用上节讨论的有关时变正则化因子的自适应算法来解决子带 k 中的 FIR 自适应滤波的学习问题。根据表 1 的对应关系，易知时域 LAEC 中的时变正则化因子计算公式三十七在子带 k 中应对应于公式四十九： $\delta^{\text{opt}}(k,n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k,n) |\hat{r}_{EX}(k,n)|^2}{\hat{\beta}(k,n)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$;

其中， $\hat{\sigma}_Y^2(k,n)$ 、 $\hat{\beta}(k,n)|_{\text{互相关法}}$ 和 $|\hat{r}_{EX}(k,n)|^2$ 分别为子带功率谱、子带域耦合因子以及子带域 LAEC 输出信号 $E(k,t)$ 与远端参考信号 $X(k,t)$ 之间的幅度平方相干系数（MSC），它们分别由时域 LAEC 中的相关公式二十六、公式

三十三至公式三十五作变量替换而得，分别由以下公式表达：

公式五十：

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{否则} \end{cases}$$

这里 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ 为预设的递归常数。

$$\text{公式五十一: } \hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} \approx \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2|^2}$$

其中， N_s 为计算平均时使用的信号帧数目，且 $N_s \ll L_s$ 。

$$\text{公式五十二: } \hat{r}(k, n) \approx \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{(\sum_{n1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n1)|^2)(\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2)}$$

$$\text{公式五十三: } |\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2, & \text{否则} \end{cases}$$

那么子带 k 中的 FIR 滤波器系数更新的时变正则化因子 NLMS 学习算法可用公式五十四和公式五十五表述为：

$$\text{公式五十四: } E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n) \vec{W}_k(n)$$

$$\text{公式五十五: } \vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n) E^*(k, n) / [\vec{X}_k^H(n) \vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k, n)]$$

其中， $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为由公式四十九确定的时变正则化因子； $\vec{X}_k(n)$ 可由公式五十六定义： $\vec{X}_k(n) \triangleq [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ 。

有上述推导可知，在所述预设信号包括 AEC 中输入的近端麦克风接收的语音信号的子带谱和远端参考语音信号的子带谱，所述 FIR 滤波器系数矢量为子带域 FIR 滤波器系数矢量，所述时变正则化因子为子带域时变正则化因子时，本公开中的步骤 21 的具体实现方式为：分别获取麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值；根据所述麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值，获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的子

带域时变正则化因子。

进一步地，所述麦克风接收信号的子带功率谱的获取方式为：

根据公式五十：

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 \leq \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \end{cases} \quad \text{得到麦克风接收信号的子带功率谱；}$$

其中， $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号的子带功率谱； $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，所述子带域耦合因子的有效估计值的获取方式包括：

根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取子带域耦合因子的有效估计值。

进一步地，所述根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值的步骤，包括：

$$\text{根据公式五十一：} \hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2|^2} \quad \text{获取子带域耦合因子的有偏估计值；}$$

其中， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭； $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$ ， N_s 为用于进行 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的信号帧数目，且 $N_s \ll L_s$ ， L_s 为每个子带中FIR滤波器系数的个数； $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的AEC输出误差信号子带谱； $E(k, n) = Y(k, n) - \bar{X}_k^H(n)\bar{W}_k(n)$ ， $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻AEC输出误差信号子带谱； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\bar{X}_k^H(n)$ 为 $\bar{X}_k(n)$ 的

共轭转置矩阵； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量，且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n - 1), \dots, X(k, n - L_s + 1)]^T$ ； $X(k, n - n_2)$ 为在 $n - n_2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱； T 为转置运算符； $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中FIR滤波器系数矢量， $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中FIR滤波器第 n_2+1 个系数， $n_2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，所述获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的步骤，包括：获取AEC输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值；根据所述AEC输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值，获取AEC输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方，并将此作为子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

进一步地，所述获取AEC输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值的步骤包括：

$$\text{根据公式五十二：} \hat{r}(k, n) = \frac{|\sum_{n_1=0}^{N_s-1} E(k, n-n_1)X^*(k, n-n_1)|^2}{(\sum_{n_1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n_1)|^2)(\sum_{m=0}^{N_s-1} |X(k, n-n_1)|^2)}$$

获取AEC输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值；

其中， $\hat{r}(k, n)$ 为AEC输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值； $X^*(k, n - n_1)$ 为 $X(k, n - n_1)$ 的复共轭； $n_1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$ ， N_s 为用于进行 $\hat{r}(k, n)$ 估计时所使用的帧数目，且 $N_s \ll L_s$ ， L_s 为每个子带中FIR滤波器系数的个数； $E(k, n - n_1)$ 为在 $n-n_1$ 信号帧时刻的AEC输出误差信号子带谱； $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$ ， $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻AEC输出误差信号子带谱； $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量，且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n - 1), \dots, X(k, n - L_s + 1)]^T$ ； $X(k, n - n_2)$ 为在 $n - n_2$ 信号帧时刻

的远端参考信号子带谱； T 为转置运算符； $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量， $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数， $n2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，所述根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值，获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方的步骤，包括：

根据公式五十三：

$$|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(k, n) \leq |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方；

其中， $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，所述根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取子带域耦合因子的有效估计值的步骤，包括：

根据公式： $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 获取子带域耦合因子的有效估计值；

其中， $\hat{\beta}(k, n)$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，所述根据所述麦克风接收信号子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值，获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的子带域时变正则化因子的步骤，包括：

根据公式四十九：

$$\delta^{\text{opt}}(k, n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n)}{\hat{\beta}(k, n) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n) |\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2}{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号子带功率谱； $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2}$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小时常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； n 为信号帧时间索引变量。

具体地，在使用 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新时，步骤 22 的具体实现方式为：

根据公式：

$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n) E^*(k, n) / [\vec{X}_k^H(n) \vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k, n)]$ 应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量， $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ ； $X(k, n-n_2)$ 为第 $n-n_2$ 信号帧时刻远端参考信号子带谱； $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数， T 为转置运算符； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $E^*(k, n)$ 为 $E(k, n)$ 的复共轭； $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱，且 $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n) \vec{W}_k(n)$ ； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\vec{W}_k(n) =$

$[W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数; $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

将公式四十九定义的时变正则化因子 $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 应用到子带域 LAEC 的 NLMS 自适应学习算法中, 可得到一种子带域 LAEC 带时变正则化因子的 NLMS 持续自适应学习算法, 该算法对“双讲”和回声路径变化具有良好的鲁棒性; 具体的算法实现流程为:

第一步: 初始化

1.1、预置参数 $0 < \mu < 2$ 、 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ 、 $\tau \geq 0$ 、 $\rho > 0$ 、

$\delta_{\min}$ 、 L_s 和 N_s 的值;

1.2、初始化相关变量, 对所有子带 k , $k=0, \dots, K-1$, 做如下初始化:

$$\vec{X}_k(0) = 0, \vec{W}_k(0) = 0, \hat{\sigma}_Y^2(k, 0) = 0, |\hat{r}_{EX}(k, 0)|^2 = \tau;$$

1.3、设置信号帧索引变量 n 为零, 即 $n=0$;

第二步: 所有子带 k , $k=0, \dots, K-1$, 做如下处理:

2.1、在线计算相关变量

2.1.1、用公式五十计算 $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$;

2.1.2、用公式五十四计算 LAEC 的输出 $E(k, n)$;

2.1.3、用公式五十二和公式五十三计算 $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$;

2.1.4、用公式五十一计算 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$;

2.2、在线计算正则化因子 $\delta^{\text{opt}}(k, n)$

2.2.1、用公式四十九计算 $\delta^{\text{opt}}(k, n)$;

2.3、更新迭代子带域 FIR 滤波器系数矢量

2.3.1 、 用 公 式 $\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n)E^*(k, n)/[\vec{X}_k^H(n)\vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k, n)]$ 计算 FIR 滤波器系数矢量;

第三步: 更新信号帧索引变量 n , 即: $n=n+1$, 并跳转至第二步。

同理，子带 k 中的 FIR 滤波器系数更新的时变正则化因子 AP 算法可用公式五十七和公式五十八分别表述为： $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n)\vec{W}_k(n)$ ；

$$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k, n) \cdot$$

$$[X_{\text{state}}^H(k, n)X_{\text{state}}(k, n) + \delta^{\text{opt}}(k, n) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot$$

$$\vec{E}_k^*(n)$$

其中， $\vec{E}_k(n) \triangleq [E(k, n), E(k, n-1), \dots, E(k, n-P+1)]^T$ 为 P 维误差矢量；

$\vec{Y}_k(n) \triangleq [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$ 为 P 维麦克风接收信号矢量， $X_{\text{state}}(k, n) \triangleq [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵， $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵。

具体地，在使用 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新时，步骤 22 的具体实现方式为：

根据公式：

$$\begin{aligned} \vec{W}_k(n+1) = & \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k, n) \\ & \cdot [X_{\text{state}}^H(k, n)X_{\text{state}}(k, n) + \delta^{\text{opt}}(k, n) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n) \end{aligned}$$

应用仿射投影 AP 算法对子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $X_{\text{state}}(k, n)$ 为子带 k 中 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{\text{state}}(k, n) = [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$ ； $\vec{X}_k(n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱矢量，且 $n_3 = 0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{\text{state}}^H(k, n)$ 为 $X_{\text{state}}(k, n)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{E}_k^*(n)$ 为 $\vec{E}_k(n)$ 的复共轭，且 $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n)\vec{W}_k(n)$ ； $\vec{E}_k(n)$ 为 P 维误差信号子带谱矢量； $\vec{Y}_k(n)$ 为 P 维麦克风接收信号子带谱矢量，且 $\vec{Y}_k(n) = [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$ ； $Y(k, n-n_3)$ 为在 $n-n_3$

信号帧时刻的麦克风接收信号; $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数, $n_2=0, 1, \dots, L_s-1$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

将公式四十九定义的时变正则化因子 $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 应用到子带域 LAEC 的 AP 自适应学习算法中, 可得到一种子带域 LAEC 带时变正则化因子的 AP 持续自适应学习算法, 该算法对“双讲”和回声路径变化具有良好的鲁棒性; 具体的算法实现流程为:

第一步: 初始化

1.1、预置参数 $0 < \mu < 2$ 、 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ 、 $\tau \geq 0$ 、 $\rho > 0$ 、

$\delta_{\min}$ 、 L_s 和 N_s 的值;

1.2、初始化相关变量, 对所有子带 k , $k=0, \dots, K-1$, 做如下初始化:

$\vec{X}_k(0) = 0$, $\vec{W}_k(0) = 0$, $\hat{\sigma}_Y^2(k, 0) = 0$, $|\hat{r}_{EX}(k, 0)|^2 = \tau$;

1.3、设置信号帧索引变量 n 为零, 即 $n=0$;

第二步: 所有子带 k , $k=0, \dots, K-1$, 做如下处理:

2.1、在线计算相关变量

2.1.1、用公式五十计算 $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$;

2.1.2、用公式五十四计算 LAEC 的输出 $E(k, n)$;

2.1.3、用公式五十二和公式五十三计算 $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$;

2.1.4、用公式五十一计算 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$;

2.2、在线计算正则化因子 $\delta^{\text{opt}}(k, n)$

2.2.1、用公式四十九计算 $\delta^{\text{opt}}(k, n)$;

2.3、更新迭代子带域 FIR 滤波器系数矢量

2.3.1、用公式五十七计算误差矢量 $\vec{E}_k(n)$;

2.3.2、用公式 $\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) +$

$\mu \cdot X_{\text{state}}(k, n) \cdot [X_{\text{state}}^H(k, n)X_{\text{state}}(k, n) + \delta^{\text{opt}}(k, n) \cdot \mathbf{I}_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n)$ 计算 FIR 滤波器系数矢量；

第三步：更新信号帧索引变量 n ，即： $n = n + 1$ ，并跳转至第二步。

需要说明的是，本公开的一些实施例具有如下优点：

A、本公开提出的时域和子带域 LAEC 时变正则化因子自适应学习算法对初始化过程不敏感；

B、本公开提出的时域和子带域 LAEC 时变正则化因子自适应学习算法对回声抵消应用中的“双讲”模式具有很好的鲁棒性；

C、本公开提出的时域和子带域 LAEC 时变正则化因子自适应学习算法对回声抵消应用中的“回声路径变化”具有很好的鲁棒性；

D、本公开提出的子带域 LAEC 时变正则化因子自适应学习算法与相应的时域 LAEC 学习算法相比，其复杂度降低了 M^2/K ，（这里 M 为抽取因子， K 为子带总数）；考虑到实信号的子带谱满足共轭对称特性，那么子带域 LAEC 的学习算法仅需运行于前 $(K/2+1)$ 个子带，从而其算法复杂度可进一步地降低（约减少一半）；这种低计算复杂度子带域 LAEC 学习算法易于在商用 DSP 芯片上实现；此外，鉴于子带域处理结构的并行性，本公开提出的子带域算法更易于专用集成电路（ASIC）实现。

如图 6 所示，本公开的一些实施例还提供一种有限冲激响应 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新装置，包括存储器 61、处理器 62 及存储在所述存储器 61 上并可在所述处理器 62 上运行的计算机程序；且所述存储器 61 通过总线接口 63 与所述处理器 62 连接；其中，所述处理器 62 执行所述计算机程序时实现以下步骤：获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

具体地，所述预设信号包括：声学回声抵消器 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号、自适应噪声抵消系统中噪声参考信号

和系统输入信号、自适应干扰抵消系统中干扰参考信号和系统输入信号、自适应系统辨识中的激励输入信号和待辨识的未知系统输出信号的组合对中的一项。

进一步地,所述预设信号包括 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤: 分别获取麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值; 根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值, 获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:
根据公式:

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 \leq \hat{\sigma}_y^2(t-1) \end{cases}$$

得到麦克风接收信号的功率;

其中, $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率; $y(t)$ 为麦克风接收信号; α_a 和 α_d 为预设的递归常量, 且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$; t 为数字信号时间索引序号。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值;

获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子;

根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取耦合因子的有效估计值。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

根据公式: $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2|}$ 获取耦合因子的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 估计

时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

根据公式: $\hat{r}(t) = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |e(t-t_1)|^2)(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2)}$ 获取 AEC 输出的误差信号

与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; $x(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的远端参考信号; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{r}(t)$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为

转置运算符; $\vec{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为在 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

$$\text{根据公式: } |\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{若 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2 \\ |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(t) \leq |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方;

其中, $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方; $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

$$\text{根据公式: } \hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2} \text{ 获取耦合因子的有效估计值;}$$

其中, $\hat{\beta}(t)$ 为耦合因子的有效估计值; $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方; t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

根据公式:

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取用于 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子;

其中, $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子; L 为 FIR 滤波器系数的个数; $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率; $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}$ 为耦合因子的有效估计值; $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方; $\delta_{\min}$ 为预设小实常量, 且 $\delta_{\min} > 0$; ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数, 且 $\rho > 0$, $\rho_0 > 0$; t 为数字信号样

本时间索引序号。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

根据公式: $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{\text{opt}}(t)]$

应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新;

其中, $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子; $e^*(t)$ 为 $e(t)$ 的复共轭; $e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

根据公式:

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{\text{state}}(t)[X_{\text{state}}^H(t)X_{\text{state}}(t) + \delta^{\text{opt}}(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$$

应用仿射投影 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新;

其中, $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子; $X_{\text{state}}(t)$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵, 且 $X_{\text{state}}(t) = [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$; $\vec{x}(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的远端参考信号矢量, 且 $t_3=0, 1, \dots, P-1$, P 为 AP 算法的阶数; $X_{\text{state}}^H(t)$ 为 $X_{\text{state}}(t)$ 的共轭转置矩阵; $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵; $\vec{e}^*(t)$ 为 $\vec{e}(t)$ 的复共轭, 且 $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{\text{state}}^H(t)\vec{w}(t)$; $\vec{e}(t)$ 为 P 维误差矢量; $\vec{y}(t)$ 为 P 维麦克风接收信号矢量, 且 $\vec{y}(t) = [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$; $y(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的麦

麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 $t2+1$ 个系数， $t2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

具体地，所述预设信号包括 AEC 中输入的近端麦克风接收的语音信号的子带谱和远端参考语音信号的子带谱，所述 FIR 滤波器系数矢量为子带域 FIR 滤波器系数矢量，所述时变正则化因子为子带域时变正则化因子，计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤：

分别获取麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值；

根据所述麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值，获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子。

进一步地，计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) =$$

$$\begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 \leq \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \end{cases} \quad \text{得到麦}$$

克风接收信号子带功率谱；

其中， $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号子带功率谱； $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤：

根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取子带域耦合因子的有效估计值。

进一步地，计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤：

根据公式: $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2|^2}$ 获取子带域耦合因子的

的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭; $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的信号帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \bar{X}_k^H(n)\bar{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱; $\bar{X}_k^H(n)$ 为 $\bar{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\bar{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$; $X(k, n-n2)$ 为在 $n-n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\bar{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数, $n2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

根据公式: $\hat{f}(k, n) = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{(\sum_{n1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n1)|^2)(\sum_{m=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2)}$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅

度平方的备选值；

其中， $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值； $X^*(k, n - n1)$ 为 $X(k, n - n1)$ 的复共轭； $n1 = 0, 1, 2, \dots, N_s - 1$ ， N_s 为用于进行 $\hat{r}(k, n)$ 估计时所使用的帧数目，且 $N_s \ll L_s$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数； $E(k, n - n1)$ 为在 $n - n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱； $E(k, n) = Y(k, n) - \bar{X}_k^H(n) \bar{W}_k(n)$ ， $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱； $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱； $\bar{X}_k^H(n)$ 为 $\bar{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $\bar{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量，且 $\bar{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n - 1), \dots, X(k, n - L_s + 1)]^T$ ； $X(k, n - n2)$ 为在 $n - n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱； T 为转置运算符； $\bar{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量， $\bar{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2 + 1$ 个系数， $n2 = 0, 1, 2, \dots, L_s - 1$ ； k 为子带索引变量， $k = 0, 1, 2, \dots, K - 1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤：

根据公式：

$$|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(k, n) \leq |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方；

其中， $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤：

根据公式： $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 获取子带域耦合因子的有效估计值；

其中， $\hat{\beta}(k, n)$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域

耦合因子的有偏估计值； $|\hat{f}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\delta^{\text{opt}}(k, n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n)}{\hat{\beta}(k, n) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n) |\hat{f}_{EX}(k, n)|^2}{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号子带功率谱； $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{f}_{EX}(k, n)|^2}$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{f}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤：

根据公式：

$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n) E^*(k, n) / [\vec{X}_k^H(n) \vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k, n)]$ 应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量， $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ ； $X(k, n-n_2)$ 为第 $n-n_2$ 信号帧时刻远端参考信号子带谱； $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数， T 为转置运算符； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $E^*(k, n)$ 为 $E(k, n)$ 的复共轭；

$E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱, 且 $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n) \vec{W}_k(n)$; $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱; $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数; $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

进一步地, 计算机程序被处理器 62 执行时处理器 62 还可实现如下步骤:

根据公式:

$$\begin{aligned} \vec{W}_k(n+1) = & \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k, n) \\ & \cdot [X_{\text{state}}^H(k, n) X_{\text{state}}(k, n) + \delta^{\text{opt}}(k, n) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n) \end{aligned}$$

应用仿射投影 AP 算法对子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新;

其中, $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子; $X_{\text{state}}(k, n)$ 为子带 k 中 $L \times P$ 维状态矩阵, 且 $X_{\text{state}}(k, n) = [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$; $\vec{X}_k(n-n3)$ 为在 $n-n3$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱矢量, 且 $n3=0, 1, \dots, P-1$, P 为 AP 算法的阶数; $X_{\text{state}}^H(k, n)$ 为 $X_{\text{state}}(k, n)$ 的共轭转置矩阵; $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵; $\vec{E}_k^*(n)$ 为 $\vec{E}_k(n)$ 的复共轭, 且 $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n) \vec{W}_k(n)$; $\vec{E}_k(n)$ 为 P 维误差信号子带谱矢量; $\vec{Y}_k(n)$ 为 P 维麦克风接收信号子带谱矢量, 且 $\vec{Y}_k(n) = [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$; $Y(k, n-n3)$ 为在 $n-n3$ 信号帧时刻的麦克风接收信号; $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数, $n2=0, 1, \dots, L_s-1$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

本领域技术人员可以理解, 实现上述实施例的全部或者部分步骤可以通

过硬件来完成，也可以通过计算机程序来指示相关的硬件来完成，所述计算机程序包括执行上述方法的部分或者全部步骤的指令；且该计算机程序可以存储于一可读存储介质中，存储介质可以是任何形式的存储介质。

如图 7 所示，本公开的一些实施例还提供一种有限冲激响应 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新装置 70，包括：获取模块 71，用于获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子；更新模块 72，用于根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

具体地，所述预设信号包括 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号，所述获取模块 71 包括：第一获取单元，用于分别获取麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值；第二获取单元，用于根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值，获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子。

进一步地，所述第一获取单元中所述麦克风接收信号的功率的获取方式为：

根据公式：

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 \leq \hat{\sigma}_y^2(t-1) \end{cases}$$

得到麦克风接收信号的功率；

其中， $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $y(t)$ 为麦克风接收信号； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； t 为数字信号时间索引序号。

进一步地，所述第一获取单元中所述耦合因子的有效估计值的获取方式为：

根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取耦合因子的有效估计值。

进一步地，所述根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值的方式为：

根据公式： $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2}$ 获取耦合因子的有偏估计值；

其中， $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭； $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$ ， T_s 为用于进行 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的样本数目，且 $T_s \ll L$ ， L 为 FIR 滤波器系数的个数； $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号， $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量， $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地，所述获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的方式为：

获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值；

根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值，获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方，并将此作为耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

进一步地，所述获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值的方式为：

根据公式： $\hat{r}(t) = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |e(t-t_1)|^2)(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2)}$ 获取 AEC 输出的误差信号

与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值；

其中， $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值； $x(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的远端参考信号； $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭； $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$ ， T_s 为用于进行 $\hat{r}(t)$ 估计时所使用的样本数目，且 $T_s \ll L$ ， L 为 FIR 滤波器系数的个数； $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号， $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量， $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为在 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地，所述根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值，获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方的方式为：

$$\text{根据公式：} |\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{若 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2 \\ |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(t) \leq |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方；

其中， $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值； t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地，所述根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取耦合因子的有效估计值的方式为：

$$\text{根据公式：} \hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2} \text{ 获取耦合因子的有效估计值；}$$

其中， $\hat{\beta}(t)$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦

合因子的有偏估计值； $|\hat{f}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地，所述第二获取单元用于：

根据公式：

$$\delta^{opt}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{f}_{ex}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取用于 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

其中， $\delta^{opt}(t)$ 为时变正则化因子； L 为 FIR 滤波器系数的个数； $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{f}_{ex}(t)|^2}$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{f}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地，所述更新模块 72 用于：

根据公式： $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{opt}(t)]$

应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\delta^{opt}(t)$ 为时变正则化因子； $e^*(t)$ 为 $e(t)$ 的复共轭； $e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地，所述更新模块 72 用于：

根据公式：

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{\text{state}}(t)[X_{\text{state}}^H(t)X_{\text{state}}(t) + \delta^{\text{opt}}(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$$

应用仿射投影 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； $X_{\text{state}}(t)$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{\text{state}}(t) = [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$ ； $\vec{x}(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的远端参考信号矢量，且 $t_3=0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{\text{state}}^H(t)$ 为 $X_{\text{state}}(t)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{e}^*(t)$ 为 $\vec{e}(t)$ 的复共轭，且 $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{\text{state}}^H(t)\vec{w}(t)$ ； $\vec{e}(t)$ 为 P 维误差矢量； $\vec{y}(t)$ 为 P 维麦克风接收信号矢量，且 $\vec{y}(t) = [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$ ； $y(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

具体地，所述预设信号包括 AEC 中输入的近端麦克风接收的语音信号的子带谱和远端参考语音信号的子带谱，所述 FIR 滤波器系数矢量为子带域 FIR 滤波器系数矢量，所述时变正则化因子为子带域时变正则化因子，所述获取模块 71 包括：第三获取单元，用于分别获取麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值；第四获取单元，用于根据所述麦克风接收信号子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值，获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子。

进一步地，所述第三获取单元中所述麦克风接收信号子带功率谱的获取方式为：

根据公式：

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 \leq \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \end{cases} \quad \text{得到 麦}$$

克风接收信号的子带功率谱；

其中， $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号的子带功率谱； $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，所述第三获取单元中所述子带域耦合因子的有效估计值的获取方式包括：

根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取子带域耦合因子的有效估计值。

进一步地，所述根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值的方式为：

$$\text{根据公式: } \hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2|^2} \quad \text{获取子带域耦合因子}$$

的有偏估计值；

其中， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭； $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$ ， N_s 为用于进行 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的信号帧数目，且 $N_s \ll L_s$ ， L_s 为每个子带中FIR滤波器系数的个数； $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的AEC输出误差信号子带谱； $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$ ， $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻AEC输出误差信号子带谱； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量，且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-N_s+1)]^T$ 。

$1), \dots, X(k, n - L_s + 1)]^T$; $X(k, n - n_2)$ 为在 $n - n_2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中FIR滤波器系数矢量, $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中FIR滤波器第 n_2+1 个系数, $n_2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

进一步地, 所述获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的方式为:

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

进一步地, 所述获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值的方式为:

$$\text{根据公式: } \hat{r}(k, n) = \frac{|\sum_{n_1=0}^{N_s-1} E(k, n-n_1)X^*(k, n-n_1)|^2}{(\sum_{n_1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n_1)|^2)(\sum_{m=0}^{N_s-1} |X(k, n-n_1)|^2)}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值; $X^*(k, n - n_1)$ 为 $X(k, n - n_1)$ 的复共轭; $n_1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{r}(k, n)$ 估计时所使用的帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中FIR滤波器系数的个数; $E(k, n - n_1)$ 为在 $n-n_1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱; $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\vec{X}_k(n) =$

$[X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$; $X(k, n-n_2)$ 为在 $n-n_2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量, $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数, $n_2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

进一步地, 所述根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方的方式为:

根据公式:

$$|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(k, n) \leq |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方;

其中, $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方; $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值; n 为信号帧时间索引变量。

进一步地, 所述根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取子带域耦合因子的有效估计值的方式为:

根据公式: $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 获取子带域耦合因子的有效估计值;

其中, $\hat{\beta}(k, n)$ 为子带域耦合因子的有效估计值, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方; n 为信号帧时间索引变量。

进一步地, 所述第四获取单元用于:

根据公式:

$$\delta^{\text{opt}}(k, n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n)}{\hat{\beta}(k, n) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n) |\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2}{\hat{\beta}(k, n) |_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号子带功率谱； $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n) |_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2}$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n) |_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，所述更新模块 72 用于：

根据公式：

$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n) E^*(k, n) / [\vec{X}_k^H(n) \vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k, n)]$ 应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量， $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ ； $X(k, n-n_2)$ 为第 $n-n_2$ 信号帧时刻远端参考信号子带谱； $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数， T 为转置运算符； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $E^*(k, n)$ 为 $E(k, n)$ 的复共轭； $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱，且 $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n) \vec{W}_k(n)$ ； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数； $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； k 为子带索引变

量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

进一步地, 所述更新模块 72 用于:

根据公式:

$$\begin{aligned} \vec{W}_k(n+1) = & \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k, n) \\ & \cdot [X_{\text{state}}^H(k, n)X_{\text{state}}(k, n) + \delta^{\text{opt}}(k, n) \cdot \mathbf{I}_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n) \end{aligned}$$

应用仿射投影 AP 算法对子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新;

其中, $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子; $X_{\text{state}}(k, n)$ 为子带 k 中 $L \times P$ 维状态矩阵, 且 $X_{\text{state}}(k, n) = [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$; $\vec{X}_k(n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱矢量, 且 $n_3=0, 1, \dots, P-1$, P 为 AP 算法的阶数; $X_{\text{state}}^H(k, n)$ 为 $X_{\text{state}}(k, n)$ 的共轭转置矩阵; $\mathbf{I}_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵; $\vec{E}_k^*(n)$ 为 $\vec{E}_k(n)$ 的复共轭, 且 $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n)\vec{W}_k(n)$; $\vec{E}_k(n)$ 为 P 维误差信号子带谱矢量; $\vec{Y}_k(n)$ 为 P 维麦克风接收信号子带谱矢量, 且 $\vec{Y}_k(n) = [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$; $Y(k, n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的麦克风接收信号; $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数, $n_2=0, 1, \dots, L_s-1$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

需要说明的是, 该装置的实施例是与上述方法实施例一一对应的装置, 上述方法实施例中所有实现方式均适用于该装置的实施例中, 也能达到相同的技术效果。

本公开的一些实施例还提供一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 所述计算机程序被处理器执行时实现以下步骤: 获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的更新的

时变正则化因子；根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

具体地，所述预设信号包括：声学回声抵消器 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号、自适应噪声抵消系统中噪声参考信号和系统输入信号、自适应干扰抵消系统中干扰参考信号和系统输入信号、自适应系统辨识中的激励输入信号和待辨识的未知系统输出信号的组合对中的一项。

进一步地，所述预设信号包括 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：分别获取麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值；

根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值，获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的新的时变正则化因子。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：根据公式：

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 \leq \hat{\sigma}_y^2(t-1) \end{cases}$$

得到麦克风接收信号的功率；

其中， $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $y(t)$ 为麦克风接收信号； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； t 为数字信号时间索引序号。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值；获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取耦合因子的有效估计值。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式: $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2}$ 获取耦合因子的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:
获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;
根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

进一步地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式: $\hat{f}(t) = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |e(t-t_1)|^2)(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2)}$ 获取 AEC 输出的误差信号与远

端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; 其中, $\hat{f}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; $x(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的远端参考信号; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{f}(t)$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为

t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\vec{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量， $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为在 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式： $|\hat{r}_{ex}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{若 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2 \\ |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(t) \leq |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2 \end{cases}$

获取 AEC 输出信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方；

其中， $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值； t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式： $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{ex}(t)|^2}$ 获取耦合因子的有效估计值；其中， $\hat{\beta}(t)$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式： $\delta^{\text{opt}}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{r}_{ex}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$

获取用于 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； L 为 FIR 滤波器系数的个数； $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{ex}(t)|^2}$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且

$\delta_{\min} > 0$; ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数, 且 $\rho > 0$, $\rho_0 > 0$; t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式: $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{\text{opt}}(t)]$

应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新; 其中, $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子; $e^*(t)$ 为 $e(t)$ 的复共轭; $e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式: $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{\text{state}}(t)[X_{\text{state}}^H(t)X_{\text{state}}(t) + \delta^{\text{opt}}(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$

应用仿射投影 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新;

其中, $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子; $X_{\text{state}}(t)$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵, 且 $X_{\text{state}}(t) = [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$; $\vec{x}(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的远端参考信号矢量, 且 $t_3=0, 1, \dots, P-1$, P 为 AP 算法的阶数; $X_{\text{state}}^H(t)$ 为 $X_{\text{state}}(t)$ 的共轭转置矩阵; $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵; $\vec{e}^*(t)$ 为 $\vec{e}(t)$ 的复共轭, 且 $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{\text{state}}^H(t)\vec{w}(t)$; $\vec{e}(t)$ 为 P 维误差矢量; $\vec{y}(t)$ 为 P 维麦克风接收信号矢量, 且 $\vec{y}(t) = [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$; $y(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的麦

麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 $t2+1$ 个系数， $t2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

进一步地，所述预设信号包括 AEC 中输入的近端麦克风接收的语音信号的子带谱和远端参考语音信号的子带谱，所述 FIR 滤波器系数矢量为子带域 FIR 滤波器系数矢量，所述时变正则化因子为子带域时变正则化因子，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

分别获取麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值；

根据所述麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值，获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 \leq \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \end{cases} \quad \text{得到麦克风接收信号的子带功率谱；}$$

其中， $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号的子带功率谱； $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取子带域耦合因子的有效估计值。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式: $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2|^2}$ 获取子带域耦合因子的

的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭; $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的信号帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \bar{X}_k^H(n)\bar{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱; $\bar{X}_k^H(n)$ 为 $\bar{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\bar{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$; $X(k, n-n2)$ 为在 $n-n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\bar{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数, $n2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

进一步地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

进一步地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式: $\hat{f}(k, n) = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{(\sum_{n1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n1)|^2)(\sum_{m=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2)}$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅

度平方的备选值；

其中， $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值； $X^*(k, n - n1)$ 为 $X(k, n - n1)$ 的复共轭； $n1 = 0, 1, 2, \dots, N_s - 1$ ， N_s 为用于进行 $\hat{r}(k, n)$ 估计时所使用的帧数目，且 $N_s \ll L_s$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数； $E(k, n - n1)$ 为在 $n - n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱； $E(k, n) = Y(k, n) - \bar{X}_k^H(n) \bar{W}_k(n)$ ， $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱； $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱； $\bar{X}_k^H(n)$ 为 $\bar{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $\bar{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量，且 $\bar{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n - 1), \dots, X(k, n - L_s + 1)]^T$ ； $X(k, n - n2)$ 为在 $n - n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱； T 为转置运算符； $\bar{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量， $\bar{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2 + 1$ 个系数， $n2 = 0, 1, 2, \dots, L_s - 1$ ； k 为子带索引变量， $k = 0, 1, 2, \dots, K - 1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(k, n) \leq |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方；

其中， $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式： $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 获取子带域耦合因子的有效估计值；

其中， $\hat{\beta}(k, n)$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域

耦合因子的有偏估计值； $|\hat{f}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\delta^{opt}(k, n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n)}{\hat{\beta}(k, n) + \rho_0}, \delta_{min}\right\} = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n) |\hat{f}_{EX}(k, n)|^2}{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{min}\right\}$$

获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子；

其中， $\delta^{opt}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号子带功率谱； $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{f}_{EX}(k, n)|^2}$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{f}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； δ_{min} 为预设小实常量，且 $\delta_{min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； n 为信号帧时间索引变量。

进一步地，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n) E^*(k, n) / [\vec{X}_k^H(n) \vec{X}_k(n) + \delta^{opt}(k, n)]$ 应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量， $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ ； $X(k, n-n_2)$ 为第 $n-n_2$ 信号帧时刻远端参考信号子带谱； $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数， T 为转置运算符； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $E^*(k, n)$ 为 $E(k, n)$ 的复共轭；

$E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱, 且 $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n) \vec{W}_k(n)$; $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱; $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数; $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

进一步地, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式:

$$\begin{aligned} \vec{W}_k(n+1) = & \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k, n) \\ & \cdot [X_{\text{state}}^H(k, n) X_{\text{state}}(k, n) + \delta^{\text{opt}}(k, n) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n) \end{aligned}$$

应用仿射投影 AP 算法对子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新;

其中, $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子; $X_{\text{state}}(k, n)$ 为子带 k 中 $L \times P$ 维状态矩阵, 且 $X_{\text{state}}(k, n) = [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$; $\vec{X}_k(n-n3)$ 为在 $n-n3$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱矢量, 且 $n3=0, 1, \dots, P-1$, P 为 AP 算法的阶数; $X_{\text{state}}^H(k, n)$ 为 $X_{\text{state}}(k, n)$ 的共轭转置矩阵; $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵; $\vec{E}_k^*(n)$ 为 $\vec{E}_k(n)$ 的复共轭, 且 $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n) \vec{W}_k(n)$; $\vec{E}_k(n)$ 为 P 维误差信号子带谱矢量; $\vec{Y}_k(n)$ 为 P 维麦克风接收信号子带谱矢量, 且 $\vec{Y}_k(n) = [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$; $Y(k, n-n3)$ 为在 $n-n3$ 信号帧时刻的麦克风接收信号; $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数, $n2=0, 1, \dots, L_s-1$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

本公开提到的计算机可读存储介质可以是易失性的或非易失性的、瞬态

的或非瞬态的。

以上所述的是本公开的可选实施方式，应当指出对于本技术领域的普通人员来说，在不脱离本公开所述的原理前提下还可以作出若干改进和润饰，这些改进和润饰也在本公开的保护范围内。

权 利 要 求 书

1. 一种有限冲激响应 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新方法，包括：

获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

2. 根据权利要求 1 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述预设信号包括：声学回声抵消器 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号、自适应噪声抵消系统中噪声参考信号和系统输入信号、自适应干扰抵消系统中干扰参考信号和系统输入信号、自适应系统辨识中的激励输入信号和待辨识的未知系统输出信号的组合中的一项。

3. 根据权利要求 1 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述预设信号包括 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号，所述获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子的步骤，包括：

分别获取麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值；

根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值，获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子。

4. 根据权利要求 3 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述麦克风接收信号的功率的获取方式为：

根据公式：

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 \leq \hat{\sigma}_y^2(t-1) \end{cases}$$

得到麦克风接收信号的功率；

其中, $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率; $y(t)$ 为麦克风接收信号; α_a 和 α_d 为预设的递归常量, 且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$; t 为数字信号时间索引序号。

5. 根据权利要求 3 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述耦合因子的有效估计值的获取方式为:

根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值;

获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子;

根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取耦合因子的有效估计值。

6. 根据权利要求 5 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值的步骤, 包括:

根据公式: $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2}$ 获取耦合因子的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

7. 根据权利要求 5 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的步骤, 包括:

获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

8. 根据权利要求 7 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值的步骤, 包括:

根据公式: $\hat{r}(t) = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |e(t-t_1)|^2)(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2)}$ 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; $x(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的远端参考信号; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{r}(t)$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为在 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

9. 根据权利要求 7 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方的步骤, 包括:

$$\text{根据公式: } |\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{若 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2 \\ |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(t) \leq |\hat{r}_{\text{ex}}(t-1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方；

其中， $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值； t 为数字信号样本时间索引序号。

10. 根据权利要求 5 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取耦合因子的有效估计值的步骤，包括：

根据公式： $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{ex}(t)|^2}$ 获取耦合因子的有效估计值；

其中， $\hat{\beta}(t)$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； t 为数字信号样本时间索引序号。

11. 根据权利要求 3 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值，获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子的步骤，包括：

根据公式：

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{r}_{ex}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取用于 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； L 为 FIR 滤波器系数的个数； $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{ex}(t)|^2}$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

12. 根据权利要求 3 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述根据所述时变正则化因子, 对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新的步骤, 包括:

根据公式: $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{opt}(t)]$

应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新;

其中, $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\delta^{opt}(t)$ 为时变正则化因子; $e^*(t)$ 为 $e(t)$ 的复共轭; $e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

13. 根据权利要求 3 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述根据所述时变正则化因子, 对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新的步骤, 包括:

根据公式:

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{state}(t)[X_{state}^H(t)X_{state}(t) + \delta^{opt}(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$$

应用仿射投影 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新;

其中, $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\delta^{opt}(t)$ 为时变正则化因子; $X_{state}(t)$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵, 且 $X_{state}(t) = [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$; $\vec{x}(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的远端参考信号矢量, 且 $t_3=0, 1, \dots, P-1$, P 为 AP 算法的阶数; $X_{state}^H(t)$ 为 $X_{state}(t)$ 的共轭转置矩阵; $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵; $\vec{e}^*(t)$ 为 $\vec{e}(t)$ 的复共轭, 且 $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{state}^H(t)\vec{w}(t)$; $\vec{e}(t)$ 为 P 维误差矢量; $\vec{y}(t)$ 为 P 维麦克风接收信号矢量, 且

$\vec{y}(t) = [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$; $y(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的麦克风接收信号; $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

14. 根据权利要求 1 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述预设信号包括 AEC 中输入的近端麦克风接收的语音信号的子带谱和远端参考语音信号的子带谱, 所述 FIR 滤波器系数矢量为子带域 FIR 滤波器系数矢量, 所述时变正则化因子为子带域时变正则化因子, 所述获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子的步骤, 包括:

分别获取麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值;

根据所述麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值, 获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子。

15. 根据权利要求 14 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述麦克风接收信号的子带功率谱的获取方式为:

根据公式:

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 \leq \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \end{cases} \quad \text{得到麦克风接收信号的子带功率谱;}$$

其中, $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号的子带功率谱; $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱; α_a 和 α_d 为预设的递归常量, 且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

16. 根据权利要求 14 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述子带域耦合因子的有效估计值的获取方式包括:

根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取子带域耦合因子的有效估计值。

17. 根据权利要求 16 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值的步骤，包括：

$$\text{根据公式: } \hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2} \text{ 获取子带域耦合因子的}$$

的有偏估计值；

其中， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭； $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$ ， N_s 为用于进行 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的信号帧数目，且 $N_s \ll L_s$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数； $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱； $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$ ， $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量，且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ ； $X(k, n-n2)$ 为在 $n-n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱； T 为转置运算符； $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量， $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数， $n2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

18. 根据权利要求 16 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的步骤，包括：

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值；

根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系

数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

19. 根据权利要求 18 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值的步骤包括:

$$\text{根据公式: } \hat{r}(k, n) = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{(\sum_{n1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n1)|^2)(\sum_{m=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2)}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值; $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭; $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{r}(k, n)$ 估计时所使用的帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱; $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$; $X(k, n-n2)$ 为在 $n-n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量, $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数, $n2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

20. 根据权利要求 18 所述的可持续自适应更新方法, 其中, 所述根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方的步骤, 包括:

根据公式：

$$|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(k, n) \leq |\hat{r}_{EX}(k, n-1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方；

其中， $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值； n 为信号帧时间索引变量。

21. 根据权利要求 16 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取子带域耦合因子的有效估计值的步骤，包括：

根据公式： $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 获取子带域耦合因子的有效估计值；

其中， $\hat{\beta}(k, n)$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； n 为信号帧时间索引变量。

22. 根据权利要求 14 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述根据所述麦克风接收信号子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值，获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的子带域时变正则化因子的步骤，包括：

根据公式：

$$\delta^{\text{opt}}(k, n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n)}{\hat{\beta}(k, n) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n) |\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的子带域时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号的

子带功率谱； $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； n 为信号帧时间索引变量。

23. 根据权利要求 14 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新的步骤，包括：

根据公式：

$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n)E^*(k, n)/[\vec{X}_k^H(n)\vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k, n)]$ 应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量， $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ ； $X(k, n-n_2)$ 为第 $n-n_2$ 信号帧时刻远端参考信号子带谱； $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数， T 为转置运算符； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $E^*(k, n)$ 为 $E(k, n)$ 的复共轭； $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱，且 $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$ ； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数； $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

24. 根据权利要求 14 所述的可持续自适应更新方法，其中，所述根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新的步骤，包括：

根据公式：

$$\begin{aligned}\vec{W}_k(n+1) = & \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k, n) \\ & \cdot [X_{\text{state}}^H(k, n)X_{\text{state}}(k, n) + \delta^{\text{opt}}(k, n) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n)\end{aligned}$$

应用仿射投影 AP 算法对子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $X_{\text{state}}(k, n)$ 为子带 k 中 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{\text{state}}(k, n) = [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$ ； $\vec{X}_k(n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱矢量，且 $n_3=0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{\text{state}}^H(k, n)$ 为 $X_{\text{state}}(k, n)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{E}_k^*(n)$ 为 $\vec{E}_k(n)$ 的复共轭，且 $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n)\vec{W}_k(n)$ ； $\vec{E}_k(n)$ 为 P 维误差信号子带谱矢量； $\vec{Y}_k(n)$ 为 P 维麦克风接收信号子带谱矢量，且 $\vec{Y}_k(n) = [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$ ； $Y(k, n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的麦克风接收信号； $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数， $n_2=0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

25. 一种有限冲激响应 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新装置，包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序；其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

26. 根据权利要求 25 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述预设信号包括：声学回声抵消器 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号、自适应噪声抵消系统中噪声参考信号和系统输入信号、自适应

干扰抵消系统中干扰参考信号和系统输入信号、自适应系统辨识中的激励输入信号和待辨识的未知系统输出信号的组合对中的一项。

27. 根据权利要求 25 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 所述预设信号包括 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

分别获取麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值;

根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值, 获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代更新的时变正则化因子。

28. 根据权利要求 27 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式:

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 \leq \hat{\sigma}_y^2(t-1) \end{cases}$$

得到麦克风接收信号的功率;

其中, $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率; $y(t)$ 为麦克风接收信号; α_a 和 α_d 为预设的递归常量, 且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$; t 为数字信号时间索引序号。

29. 根据权利要求 27 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值;

获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子;

根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子, 获取耦合因子的有效估计值。

30. 根据权利要求 29 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式: $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2}$ 获取耦合因子的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

31. 根据权利要求 29 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

32. 根据权利要求 31 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式: $\hat{r}(t) = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |e(t-t_1)|^2)(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2)}$ 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; $x(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的远端参考信号; $x^*(t-t_1)$ 为

$x(t - t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s - 1$, T_s 为用于进行 $\hat{r}(t)$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t - t_1)$ 为在 $t - t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t - 1), \dots, x(t - L + 1)]^T$; $x(t - t_2)$ 为在 $t - t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为在 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 $t_2 + 1$ 个系数, $t_2 = 0, 1, 2, \dots, L - 1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

33. 根据权利要求 31 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

$$\text{根据公式: } |\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{若 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{\text{ex}}(t - 1)|^2 \\ |\hat{r}_{\text{ex}}(t - 1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(t) \leq |\hat{r}_{\text{ex}}(t - 1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方;

其中, $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方; $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; t 为数字信号样本时间索引序号。

34. 根据权利要求 29 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

$$\text{根据公式: } \hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2} \text{ 获取耦合因子的有效估计值;}$$

其中, $\hat{\beta}(t)$ 为耦合因子的有效估计值; $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值; $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方; t 为数字信号样本时间索引序号。

35. 根据权利要求 27 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式：

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t) |\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取用于 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子；L为 FIR 滤波器系数的个数； $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ；t 为数字信号样本时间索引序号。

36. 根据权利要求 27 所述的可持续自适应更新装置，其中，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式： $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{\text{opt}}(t)]$

应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 t-t2 信号样本时刻的远端参考信号；T 为转置运算符； $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； $e^*(t)$ 为 $e(t)$ 的复共轭； $e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ；t 为数字信号样本时间索引序号。

37. 根据权利要求 27 所述的可持续自适应更新装置，其中，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{\text{state}}(t)[X_{\text{state}}^H(t)X_{\text{state}}(t) + \delta^{\text{opt}}(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$$

应用仿射投影 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； $X_{\text{state}}(t)$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{\text{state}}(t) = [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$ ； $\vec{x}(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的远端参考信号矢量，且 $t_3 = 0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{\text{state}}^H(t)$ 为 $X_{\text{state}}(t)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{e}^*(t)$ 为 $\vec{e}(t)$ 的复共轭，且 $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{\text{state}}^H(t)\vec{w}(t)$ ； $\vec{e}(t)$ 为 P 维误差矢量； $\vec{y}(t)$ 为 P 维麦克风接收信号矢量，且 $\vec{y}(t) = [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$ ； $y(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2 = 0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

38. 根据权利要求 25 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述预设信号包括 AEC 中输入的近端麦克风接收的语音信号的子带谱和远端参考语音信号的子带谱，所述 FIR 滤波器系数矢量为子带域 FIR 滤波器系数矢量，所述时变正则化因子为子带域时变正则化因子，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

分别获取麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值；

根据所述麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值，获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子。

39. 根据权利要求 38 所述的可持续自适应更新装置，其中，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 \leq \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \end{cases} \quad \text{得到麦克风接收信号的子带功率谱；}$$

其中， $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号的子带功率谱； $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

40. 根据权利要求38所述的可持续自适应更新装置，其中，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取子带域耦合因子的有效估计值。

41. 根据权利要求40所述的可持续自适应更新装置，其中，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

$$\text{根据公式：}\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2|^2} \text{获取子带域耦合因子的有偏估计值；}$$

的有偏估计值；

其中， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭； $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$ ， N_s 为用于进行 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的信号帧数目，且 $N_s \ll L_s$ ， L_s 为每个子带中FIR滤波器系数的个数； $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的AEC输出误差信号子带谱； $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$ ， $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻AEC输出误差信号子带谱； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量，且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-N_s+1)]^T$ 。

1), ..., X(k, n - L_s + 1)]^T; X(k, n - n₂)为在n - n₂信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量, $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; W_{n₂}(k, n)为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n₂+1 个系数, n₂=0, 1, 2, ..., L_s-1; k 为子带索引变量, k=0, 1, 2, ..., K-1, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

42. 根据权利要求 40 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

43. 根据权利要求 42 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

$$\text{根据公式: } \hat{r}(k, n) = \frac{|\sum_{n_1=0}^{N_s-1} E(k, n-n_1)X^*(k, n-n_1)|^2}{(\sum_{n_1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n_1)|^2)(\sum_{m=0}^{N_s-1} |X(k, n-n_1)|^2)}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值; $X^*(k, n - n_1)$ 为 $X(k, n - n_1)$ 的复共轭; $n_1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{r}(k, n)$ 估计时所使用的帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; $E(k, n - n_1)$ 为在 n-n₁ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱; $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\vec{X}_k(n) =$

$[X(k, n), X(k, n - 1), \dots, X(k, n - L_s + 1)]^T$; $X(k, n - n_2)$ 为在 $n - n_2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中FIR滤波器系数矢量, $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中FIR滤波器第 n_2+1 个系数, $n_2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

44. 根据权利要求42所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式:

$$|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(k, n) \leq |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方;

其中, $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方; $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值; n 为信号帧时间索引变量。

45. 根据权利要求40所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式: $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2}$ 获取子带域耦合因子的有效估计值;

其中, $\hat{\beta}(k, n)$ 为子带域耦合因子的有效估计值, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方; n 为信号帧时间索引变量。

46. 根据权利要求38所述的可持续自适应更新装置, 其中, 计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤:

根据公式:

$$\delta^{\text{opt}}(k, n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n)}{\hat{\beta}(k, n) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n) |\hat{f}_{\text{EX}}(k, n)|^2}{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号子带功率谱； $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{f}_{\text{EX}}(k, n)|^2}$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{f}_{\text{EX}}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； n 为信号帧时间索引变量。

47. 根据权利要求 38 所述的可持续自适应更新装置，其中，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n) E^*(k, n) / [\vec{X}_k^H(n) \vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k, n)]$ 应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量， $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$ ； $X(k, n-n_2)$ 为第 $n-n_2$ 信号帧时刻远端参考信号子带谱； $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数， T 为转置运算符； $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵； $E^*(k, n)$ 为 $E(k, n)$ 的复共轭； $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱，且 $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n) \vec{W}_k(n)$ ； $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱； $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR

滤波器第 n_2+1 个系数； $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

48. 根据权利要求 38 所述的可持续自适应更新装置，其中，计算机程序被处理器执行时所述处理器还可实现如下步骤：

根据公式：

$$\begin{aligned} \vec{W}_k(n+1) = & \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k, n) \\ & \cdot [X_{\text{state}}^H(k, n)X_{\text{state}}(k, n) + \delta^{\text{opt}}(k, n) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n) \end{aligned}$$

应用仿射投影 AP 算法对子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $X_{\text{state}}(k, n)$ 为子带 k 中 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{\text{state}}(k, n) = [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$ ； $\vec{X}_k(n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱矢量，且 $n_3=0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{\text{state}}^H(k, n)$ 为 $X_{\text{state}}(k, n)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{E}_k^*(n)$ 为 $\vec{E}_k(n)$ 的复共轭，且 $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n)\vec{W}_k(n)$ ； $\vec{E}_k(n)$ 为 P 维误差信号子带谱矢量； $\vec{Y}_k(n)$ 为 P 维麦克风接收信号子带谱矢量，且 $\vec{Y}_k(n) = [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$ ； $Y(k, n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的麦克风接收信号； $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$ ； $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数， $n_2=0, 1, \dots, L_s-1$ ， L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

49. 一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其中，所述计算机程序被处理器执行时所述处理器实现以下步骤：

获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

50. 一种有限冲激响应 FIR 滤波器系数矢量的可持续自适应更新装置，包括：

获取模块，用于获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

更新模块，用于根据所述时变正则化因子，对所述 FIR 滤波器系数矢量进行更新。

51. 根据权利要求 50 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述预设信号包括 AEC 中输入的远端参考语音信号和近端麦克风接收的语音信号，所述获取模块包括：

第一获取单元，用于分别获取麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值；

第二获取单元，用于根据所述麦克风接收信号的功率和耦合因子的有效估计值，获取采用 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子。

52. 根据权利要求 51 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述第一获取单元中所述麦克风接收信号的功率的获取方式为：

根据公式：

$$\hat{\sigma}_y^2(t) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 > \hat{\sigma}_y^2(t-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_y^2(t-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |y(t)|^2, & \text{若 } |y(t)|^2 \leq \hat{\sigma}_y^2(t-1) \end{cases}$$

得到麦克风接收信号的功率；

其中， $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $y(t)$ 为麦克风接收信号； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； t 为数字信号时间索引序号。

53. 根据权利要求 51 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述第一获取单元中所述耦合因子的有效估计值的获取方式为：

根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取耦合因子的有效估计值。

54. 根据权利要求 53 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述根据互相关方法获取耦合因子的有偏估计值的方式为：

根据公式： $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2}$ 获取耦合因子的有偏估计值；

其中， $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭； $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$ ， T_s 为用于进行 $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的样本数目，且 $T_s \ll L$ ， L 为 FIR 滤波器系数的个数； $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号， $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量，且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量， $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

55. 根据权利要求 53 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述获取用于所述耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的方式为：

获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值；

根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值，获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方，并将此作为耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

56. 根据权利要求 55 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值的方式

为:

根据公式: $\hat{r}(t) = \frac{|\sum_{t_1=0}^{T_s-1} e(t-t_1)x^*(t-t_1)|^2}{(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |e(t-t_1)|^2)(\sum_{t_1=0}^{T_s-1} |x(t-t_1)|^2)}$ 获取 AEC 输出的误差信号

与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; $x(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的远端参考信号; $x^*(t-t_1)$ 为 $x(t-t_1)$ 的复共轭; $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_s-1$, T_s 为用于进行 $\hat{r}(t)$ 估计时所使用的样本数目, 且 $T_s \ll L$, L 为 FIR 滤波器系数的个数; $e(t-t_1)$ 为在 $t-t_1$ 信号样本时刻的 AEC 输出的误差信号, $e(t) = y(t) - \bar{x}^H(t)\bar{w}(t)$, $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号; $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号; $\bar{x}^H(t)$ 为 $\bar{x}(t)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{x}(t)$ 为远端参考信号矢量, 且 $\bar{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$; $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号; T 为转置运算符; $\bar{w}(t)$ 为 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$, $w_{t_2}(t)$ 为在 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数, $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$; t 为数字信号样本时间索引序号。

57. 根据权利要求 55 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 所述根据所述 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方的方式为:

根据公式: $|\hat{r}_{ex}(t)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(t), & \text{若 } \hat{r}(t) > |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2 \\ |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(t) \leq |\hat{r}_{ex}(t-1)|^2 \end{cases}$

获取 AEC 输出信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方;

其中, $|\hat{r}_{ex}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方; $\hat{r}(t)$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数幅度平方的备选值; t 为数字信号样本时间索引序号。

58. 根据权利要求 53 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 所述根据所

述耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取耦合因子的有效估计值的方式为：

根据公式： $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}$ 获取耦合因子的有效估计值；

其中， $\hat{\beta}(t)$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； t 为数字信号样本时间索引序号。

59. 根据权利要求 51 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述第二获取单元用于：

根据公式：

$$\delta^{\text{opt}}(t) = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)}{\hat{\beta}(t) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L \cdot \hat{\sigma}_y^2(t)|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取用于 FIR 滤波器系数矢量迭代的时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(t)$ 为时变正则化因子； L 为 FIR 滤波器系数的个数； $\hat{\sigma}_y^2(t)$ 为麦克风接收信号的功率； $\hat{\beta}(t) = \frac{\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2}$ 为耦合因子的有效估计值； $\hat{\beta}(t)|_{\text{互相关法}}$ 为基于互相关技术的耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{ex}}(t)|^2$ 为 AEC 输出的误差信号与远端参考信号之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

60. 根据权利要求 51 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述更新模块用于：

根据公式： $\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot \vec{x}(t)e^*(t)/[\vec{x}^H(t)\vec{x}(t) + \delta^{\text{opt}}(t)]$

应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\vec{x}(t)$ 为远端参

考信号矢量，且 $\vec{x}(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-L+1)]^T$ ； $x(t-t_2)$ 为在 $t-t_2$ 信号样本时刻的远端参考信号； T 为转置运算符； $\vec{x}^H(t)$ 为 $\vec{x}(t)$ 的共轭转置矩阵； $\delta^{opt}(t)$ 为时变正则化因子； $e^*(t)$ 为 $e(t)$ 的复共轭； $e(t) = y(t) - \vec{x}^H(t)\vec{w}(t)$ ， $e(t)$ 为 t 信号样本时刻 AEC 输出的误差信号； $y(t)$ 为 t 信号样本时刻麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

61. 根据权利要求 51 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述更新模块用于：

根据公式：

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \mu \cdot X_{state}(t)[X_{state}^H(t)X_{state}(t) + \delta^{opt}(t) \cdot I_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{e}^*(t)$$

应用仿射投影 AP 算法对所述 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新；

其中， $\vec{w}(t+1)$ 为更新后的 FIR 滤波器系数矢量； $\vec{w}(t)$ 为更新前的 FIR 滤波器系数矢量； μ 为预定的系数更新步长参数，且 $0 < \mu < 2$ ； $\delta^{opt}(t)$ 为时变正则化因子； $X_{state}(t)$ 为 $L \times P$ 维状态矩阵，且 $X_{state}(t) = [\vec{x}(t), \vec{x}(t-1), \dots, \vec{x}(t-P+1)]$ ； $\vec{x}(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的远端参考信号矢量，且 $t_3=0, 1, \dots, P-1$ ， P 为 AP 算法的阶数； $X_{state}^H(t)$ 为 $X_{state}(t)$ 的共轭转置矩阵； $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵； $\vec{e}^*(t)$ 为 $\vec{e}(t)$ 的复共轭，且 $\vec{e}(t) = \vec{y}(t) - X_{state}^H(t)\vec{w}(t)$ ； $\vec{e}(t)$ 为 P 维误差矢量； $\vec{y}(t)$ 为 P 维麦克风接收信号矢量，且 $\vec{y}(t) = [y(t), y(t-1), \dots, y(t-P+1)]^T$ ； $y(t-t_3)$ 为在 $t-t_3$ 信号样本时刻的麦克风接收信号； $\vec{w}(t) = [w_0(t), w_1(t), \dots, w_{L-1}(t)]^T$ ， $w_{t_2}(t)$ 为 t 信号样本时刻 FIR 滤波器第 t_2+1 个系数， $t_2=0, 1, 2, \dots, L-1$ ； t 为数字信号样本时间索引序号。

62. 根据权利要求 50 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述预设信号包括 AEC 中输入的近端麦克风接收的语音信号的子带谱和远端参考语音信号的子带谱，所述 FIR 滤波器系数矢量为子带域 FIR 滤波器系数矢量，所

述时变正则化因子为子带域时变正则化因子，所述获取模块包括：

第三获取单元，用于分别获取麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值；

第四获取单元，用于根据所述麦克风接收信号的子带功率谱和子带域耦合因子的有效估计值，获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的更新的子带域时变正则化因子。

63. 根据权利要求 62 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述第三获取单元中所述麦克风接收信号的子带功率谱的获取方式为：

根据公式：

$$\hat{\sigma}_Y^2(k, n) = \begin{cases} \alpha_a \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_a) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 > \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \\ \alpha_d \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) + (1 - \alpha_d) \cdot |Y(k, n)|^2, & \text{若 } |Y(k, n)|^2 \leq \hat{\sigma}_Y^2(k, n-1) \end{cases} \quad \text{得到麦克风接收信号的子带功率谱；}$$

其中， $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号的子带功率谱； $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱； α_a 和 α_d 为预设的递归常量，且 $0 \leq \alpha_a < \alpha_d < 1$ ； k 为子带索引变量， $k=0, 1, 2, \dots, K-1$ ，且 K 为总子带数； n 为信号帧时间索引变量。

64. 根据权利要求 62 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述第三获取单元中所述子带域耦合因子的有效估计值的获取方式包括：

根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值；

获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子；

根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取子带域耦合因子的有效估计值。

65. 根据权利要求 64 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述根据互相关方法获取子带域耦合因子的有偏估计值的方式为：

根据公式: $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2}$ 获取子带域耦合因子的

的有偏估计值;

其中, $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值; $X^*(k, n-n1)$ 为 $X(k, n-n1)$ 的复共轭; $n1=0, 1, 2, \dots, N_s-1$, N_s 为用于进行 $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 估计时所使用的信号帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; $E(k, n-n1)$ 为在 $n-n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱; $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\vec{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n-1), \dots, X(k, n-L_s+1)]^T$; $X(k, n-n2)$ 为在 $n-n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\vec{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量, $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2+1$ 个系数, $n2=0, 1, 2, \dots, L_s-1$; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

66. 根据权利要求 64 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 所述获取用于所述子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子的方式为:

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方, 并将此作为子带域耦合因子的有偏估计值补偿的修正因子。

67. 根据权利要求 66 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 所述获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值的方式为:

$$\text{根据公式: } \hat{r}(k, n) = \frac{|\sum_{n1=0}^{N_s-1} E(k, n-n1)X^*(k, n-n1)|^2}{(\sum_{n1=0}^{N_s-1} |E(k, n-n1)|^2)(\sum_{m=0}^{N_s-1} |X(k, n-n1)|^2)}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值;

其中, $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值; $X^*(k, n - n1)$ 为 $X(k, n - n1)$ 的复共轭; $n1 = 0, 1, 2, \dots, N_s - 1$, N_s 为用于进行 $\hat{r}(k, n)$ 估计时所使用的帧数目, 且 $N_s \ll L_s$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; $E(k, n - n1)$ 为在 $n - n1$ 信号帧时刻的 AEC 输出误差信号子带谱; $E(k, n) = Y(k, n) - \bar{X}_k^H(n) \bar{W}_k(n)$, $E(k, n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱; $Y(k, n)$ 为麦克风接收信号子带谱; $\bar{X}_k^H(n)$ 为 $\bar{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $\bar{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, 且 $\bar{X}_k(n) = [X(k, n), X(k, n - 1), \dots, X(k, n - L_s + 1)]^T$; $X(k, n - n2)$ 为在 $n - n2$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱; T 为转置运算符; $\bar{W}_k(n)$ 为子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量, $\bar{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 $n2 + 1$ 个系数, $n2 = 0, 1, 2, \dots, L_s - 1$; k 为子带索引变量, $k = 0, 1, 2, \dots, K - 1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

68. 根据权利要求 66 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 所述根据所述 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值, 获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方的方式为:

根据公式:

$$|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2 = \begin{cases} \hat{r}(k, n), & \text{若 } \hat{r}(k, n) > |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2 \\ |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2, & \text{若 } \hat{r}(k, n) \leq |\hat{r}_{EX}(k, n - 1)|^2 \end{cases}$$

获取 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方;

其中, $|\hat{r}_{EX}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之

间相关系数的有效幅度平方； $\hat{r}(k, n)$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数幅度平方的备选值； n 为信号帧时间索引变量。

69. 根据权利要求 64 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述根据所述子带域耦合因子的有偏估计值和所述修正因子，获取子带域耦合因子的有效估计值的方式为：

根据公式： $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2}$ 获取子带域耦合因子的有效估计值；

其中， $\hat{\beta}(k, n)$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； n 为信号帧时间索引变量。

70. 根据权利要求 62 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述第四获取单元用于：

根据公式：

$$\delta^{\text{opt}}(k, n) = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n)}{\hat{\beta}(k, n) + \rho_0}, \delta_{\min}\right\} = \max\left\{\frac{L_s \cdot \hat{\sigma}_Y^2(k, n) |\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2}{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}} + \rho}, \delta_{\min}\right\}$$

获取采用子带域 FIR 滤波器系数矢量对预设信号处理时用于进行所述子带域 FIR 滤波器系数矢量迭代的子带域时变正则化因子；

其中， $\delta^{\text{opt}}(k, n)$ 为子带域时变正则化因子； $\hat{\sigma}_Y^2(k, n)$ 为麦克风接收信号子带功率谱； $\hat{\beta}(k, n) = \frac{\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}}{|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2}$ 为子带域耦合因子的有效估计值， $\hat{\beta}(k, n)|_{\text{互相关法}}$ 为子带域耦合因子的有偏估计值； $|\hat{r}_{\text{EX}}(k, n)|^2$ 为 AEC 输出误差信号子带谱与远端参考信号子带谱之间相关系数的有效幅度平方； $\delta_{\min}$ 为预设小实常量，且 $\delta_{\min} > 0$ ； ρ_0 和 ρ 分别为预设的小实常数，且 $\rho > 0$ ， $\rho_0 > 0$ ； n 为信号帧时间索引变量。

71. 根据权利要求 62 所述的可持续自适应更新装置，其中，所述更新模块用于：

根据公式：

$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot \vec{X}_k(n)E^*(k,n)/[\vec{X}_k^H(n)\vec{X}_k(n) + \delta^{\text{opt}}(k,n)]$ 应用归一化最小均方 NLMS 算法对所述子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新;

其中, $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\vec{X}_k(n)$ 为远端参考信号子带谱矢量, $\vec{X}_k(n) = [X(k,n), X(k,n-1), \dots, X(k,n-L_s+1)]^T$; $X(k,n-n_2)$ 为第 $n-n_2$ 信号帧时刻远端参考信号子带谱; $n_2 = 0, 1, \dots, L_s-1$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数, T 为转置运算符; $\vec{X}_k^H(n)$ 为 $\vec{X}_k(n)$ 的共轭转置矩阵; $E^*(k,n)$ 为 $E(k,n)$ 的复共轭; $E(k,n)$ 为在 n 信号帧时刻 AEC 输出误差信号子带谱, 且 $E(k,n) = Y(k,n) - \vec{X}_k^H(n)\vec{W}_k(n)$; $Y(k,n)$ 为在 n 信号帧时刻麦克风接收信号子带谱; $\vec{W}_k(n) = [W_0(k,n), W_1(k,n), \dots, W_{L_s-1}(k,n)]^T$; $W_{n_2}(k,n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数; $\delta^{\text{opt}}(k,n)$ 为子带域时变正则化因子; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

72. 根据权利要求 62 所述的可持续自适应更新装置, 其中, 所述更新模块用于:

根据公式:

$$\vec{W}_k(n+1) = \vec{W}_k(n) + \mu \cdot X_{\text{state}}(k,n) \cdot [X_{\text{state}}^H(k,n)X_{\text{state}}(k,n) + \delta^{\text{opt}}(k,n) \cdot \mathbf{I}_{P \times P}]^{-1} \cdot \vec{E}_k^*(n)$$

应用仿射投影 AP 算法对子带域 FIR 滤波器系数矢量进行持续的自适应更新;

其中, $\vec{W}_k(n+1)$ 为更新后的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量; $\vec{W}_k(n)$ 为更新前的子带 k 中 FIR 滤波器系数矢量; μ 为预定的系数更新步长参数, 且 $0 < \mu < 2$; $\delta^{\text{opt}}(k,n)$ 为子带域时变正则化因子; $X_{\text{state}}(k,n)$ 为子带 k 中 $L \times P$ 维状态矩阵, 且 $X_{\text{state}}(k,n) = [\vec{X}_k(n), \vec{X}_k(n-1), \dots, \vec{X}_k(n-P+1)]$; $\vec{X}_k(n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的远端参考信号子带谱矢量, 且 $n_3 = 0, 1, \dots, P-1$, P

为 AP 算法的阶数; $X_{\text{state}}^H(k, n)$ 为 $X_{\text{state}}(k, n)$ 的共轭转置矩阵; $I_{P \times P}$ 为 $P \times P$ 维单位矩阵; $\vec{E}_k^*(n)$ 为 $\vec{E}_k(n)$ 的复共轭, 且 $\vec{E}_k(n) = \vec{Y}_k(n) - X_{\text{state}}^H(k, n) \vec{W}_k(n)$; $\vec{E}_k(n)$ 为 P 维误差信号子带谱矢量; $\vec{Y}_k(n)$ 为 P 维麦克风接收信号子带谱矢量, 且 $\vec{Y}_k(n) = [Y(k, n), Y(k, n-1), \dots, Y(k, n-P+1)]^T$; $Y(k, n-n_3)$ 为在 $n-n_3$ 信号帧时刻的麦克风接收信号; $\vec{W}_k(n) = [W_0(k, n), W_1(k, n), \dots, W_{L_s-1}(k, n)]^T$; $W_{n_2}(k, n)$ 为 n 信号帧时刻子带 k 中 FIR 滤波器第 n_2+1 个系数, $n_2=0, 1, \dots, L_s-1$, L_s 为每个子带中 FIR 滤波器系数的个数; k 为子带索引变量, $k=0, 1, 2, \dots, K-1$, 且 K 为总子带数; n 为信号帧时间索引变量。

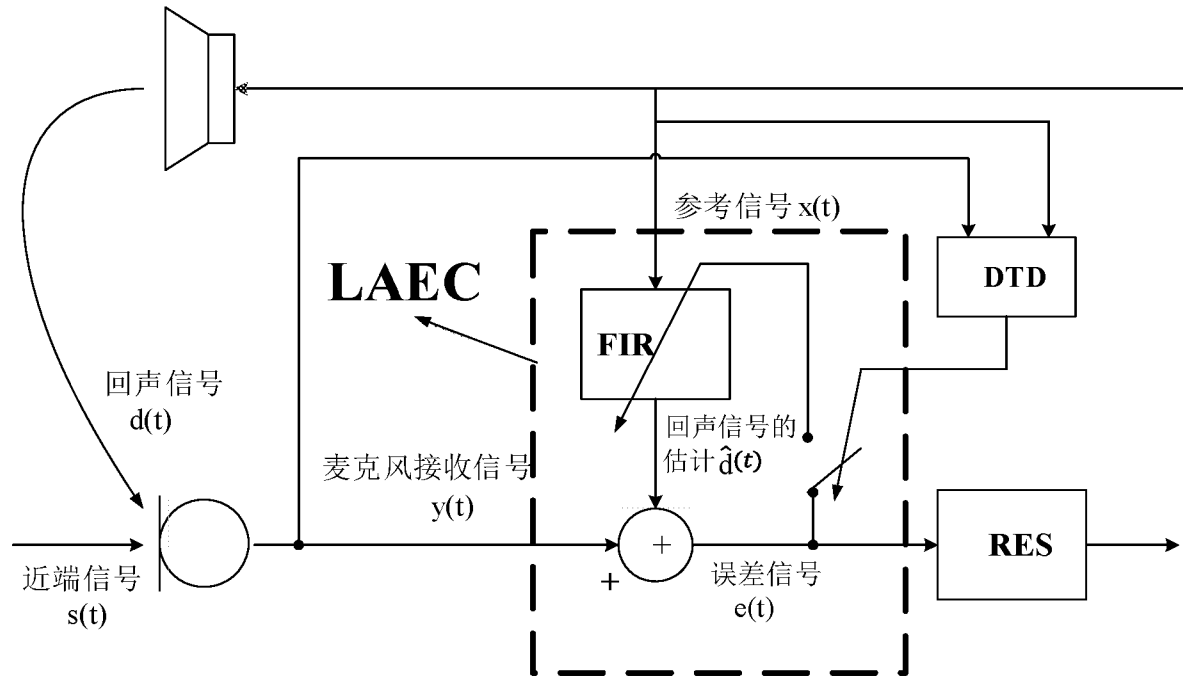


图 1

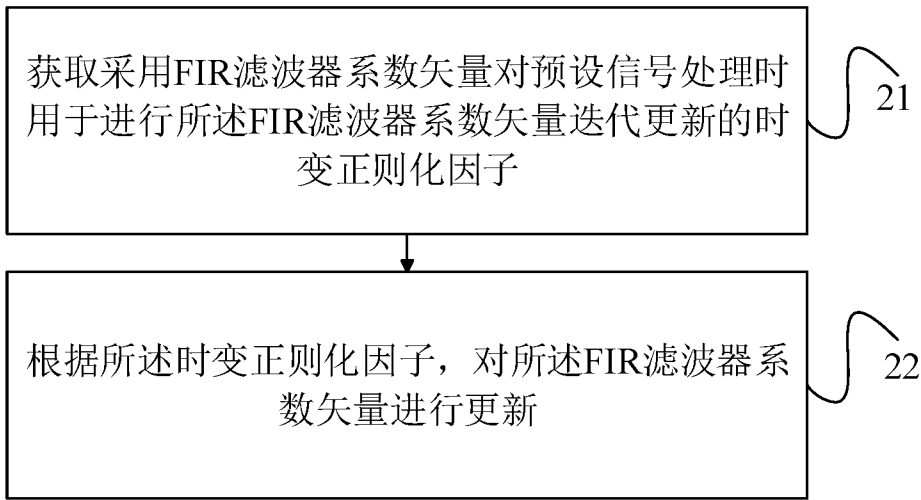


图 2

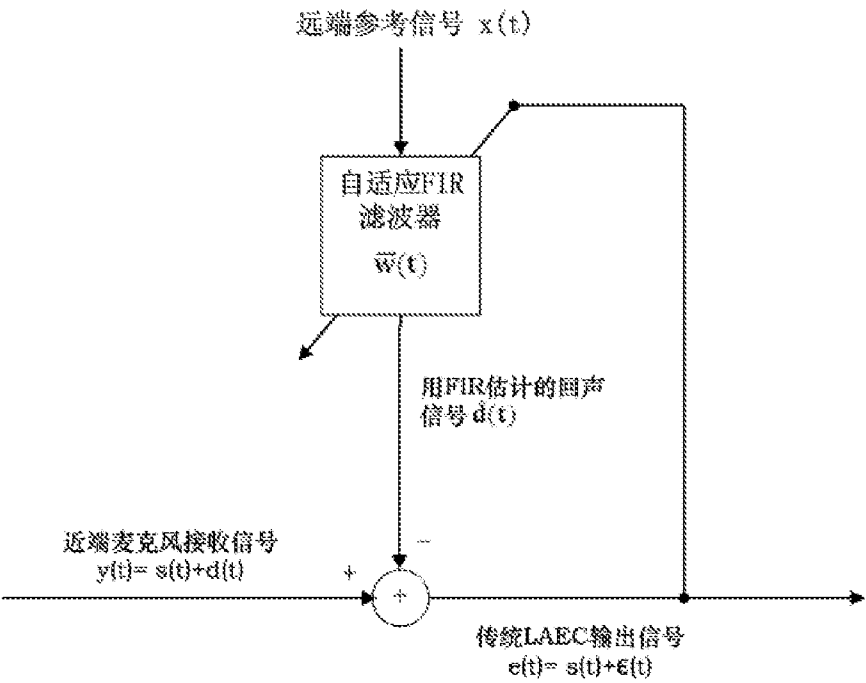


图 3

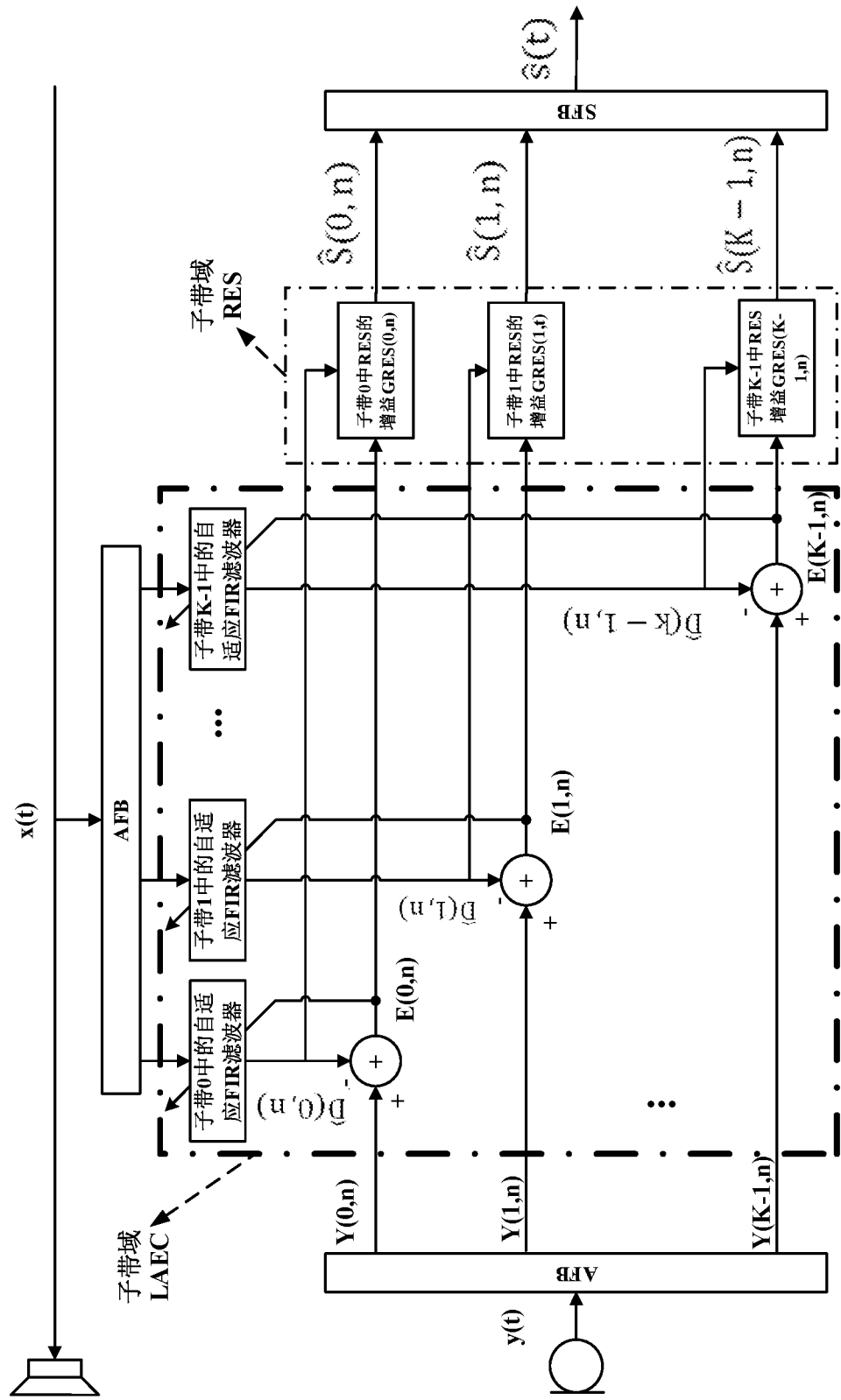


图 4

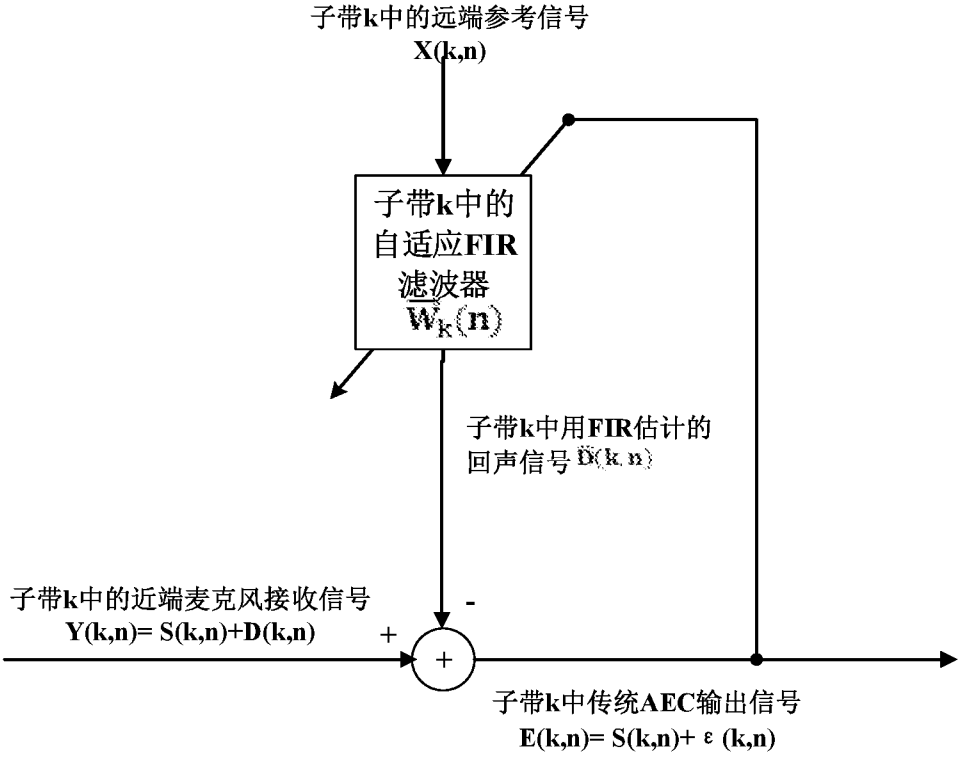


图 5



图 6

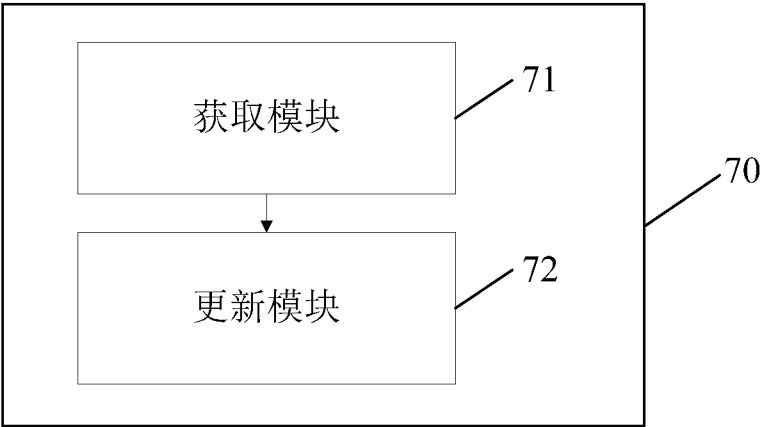


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/101491

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G10L 21/0208(2013.01)i; G10L 21/0224(2013.01)i; G10L 21/0232(2013.01)i; H04M 9/08(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G10L 21/-; H04M 9/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 电信科学技术研究院, 回声, 回音, 有限冲激响应, 更新, 时变, 正则化因子, echo, finite w impulse w response, FIR, updat+, renewal, variable, vary+, regularization w factor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 107749304 A (CHINA ACADEMY OF TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY) 02 March 2018 (2018-03-02) claims 1-72	1-72
PX	CN 107483761 A (CHINA ACADEMY OF TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY) 15 December 2017 (2017-12-15) description, paragraphs [0085]-[0097]	1, 2, 25, 26, 49-51
A	CN 106161823 A (SOUTHWEST JIAOTONG UNIVERSITY) 23 November 2016 (2016-11-23) description, paragraphs [0006]-[0022]	1-72
A	CN 104883462 A (INSTITUTE OF ACOUSTICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES ET AL.) 02 September 2015 (2015-09-02) entire document	1-72
A	CN 104616658 A (CHONGQING JINMEI COMMUNICATION CO., LTD.) 13 May 2015 (2015-05-13) entire document	1-72
A	JP 2009284465 A (NEC ENGINEERING LTD.) 03 December 2009 (2009-12-03) entire document	1-72

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 October 2018

Date of mailing of the international search report

16 November 2018

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/101491

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2011044448 A1 (LEANICS CORPORATION) 24 February 2011 (2011-02-24) entire document	1-72

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/101491

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107749304	A	02 March 2018	None			
CN	107483761	A	15 December 2017	None			
CN	106161823	A	23 November 2016	None			
CN	104883462	A	02 September 2015	CN	104883462	B	07 August 2018
CN	104616658	A	13 May 2015	None			
JP	2009284465	A	03 December 2009	JP	5057109	B2	24 October 2012
US	2011044448	A1	24 February 2011	US	8600039	B2	03 December 2013

A. 主题的分类 G10L 21/0208(2013.01)i; G10L 21/0224(2013.01)i; G10L 21/0232(2013.01)i; H04M 9/08(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G10L 21/-; H04M 9/- 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 电信科学技术研究院, 回声, 回音, 有限冲激响应, 更新, 时变, 正则化因子, echo, finite w impulse w response, FIR, updat+, renewal, variable, vary+, regularization w factor																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 107749304 A (电信科学技术研究院) 2018年 3月 2日 (2018 - 03 - 02) 权利要求1-72</td> <td>1-72</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 107483761 A (电信科学技术研究院) 2017年 12月 15日 (2017 - 12 - 15) 说明书第[0085]-[0097]段</td> <td>1, 2, 25, 26, 49-51</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106161823 A (西南交通大学) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 说明书第[0006]-[0022]段</td> <td>1-72</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104883462 A (中国科学院声学研究所 等) 2015年 9月 2日 (2015 - 09 - 02) 全文</td> <td>1-72</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104616658 A (重庆金美通信有限责任公司) 2015年 5月 13日 (2015 - 05 - 13) 全文</td> <td>1-72</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2009284465 A (NEC ENGINEERING LTD.) 2009年 12月 3日 (2009 - 12 - 03) 全文</td> <td>1-72</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2011044448 A1 (LEANICS CORPORATION) 2011年 2月 24日 (2011 - 02 - 24) 全文</td> <td>1-72</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 107749304 A (电信科学技术研究院) 2018年 3月 2日 (2018 - 03 - 02) 权利要求1-72	1-72	PX	CN 107483761 A (电信科学技术研究院) 2017年 12月 15日 (2017 - 12 - 15) 说明书第[0085]-[0097]段	1, 2, 25, 26, 49-51	A	CN 106161823 A (西南交通大学) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 说明书第[0006]-[0022]段	1-72	A	CN 104883462 A (中国科学院声学研究所 等) 2015年 9月 2日 (2015 - 09 - 02) 全文	1-72	A	CN 104616658 A (重庆金美通信有限责任公司) 2015年 5月 13日 (2015 - 05 - 13) 全文	1-72	A	JP 2009284465 A (NEC ENGINEERING LTD.) 2009年 12月 3日 (2009 - 12 - 03) 全文	1-72	A	US 2011044448 A1 (LEANICS CORPORATION) 2011年 2月 24日 (2011 - 02 - 24) 全文	1-72
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 107749304 A (电信科学技术研究院) 2018年 3月 2日 (2018 - 03 - 02) 权利要求1-72	1-72																								
PX	CN 107483761 A (电信科学技术研究院) 2017年 12月 15日 (2017 - 12 - 15) 说明书第[0085]-[0097]段	1, 2, 25, 26, 49-51																								
A	CN 106161823 A (西南交通大学) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 说明书第[0006]-[0022]段	1-72																								
A	CN 104883462 A (中国科学院声学研究所 等) 2015年 9月 2日 (2015 - 09 - 02) 全文	1-72																								
A	CN 104616658 A (重庆金美通信有限责任公司) 2015年 5月 13日 (2015 - 05 - 13) 全文	1-72																								
A	JP 2009284465 A (NEC ENGINEERING LTD.) 2009年 12月 3日 (2009 - 12 - 03) 全文	1-72																								
A	US 2011044448 A1 (LEANICS CORPORATION) 2011年 2月 24日 (2011 - 02 - 24) 全文	1-72																								
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																										
国际检索实际完成的日期 2018年 10月 31日		国际检索报告邮寄日期 2018年 11月 16日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 王馨宁 电话号码 86-(10)-53962649																								

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/101491

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107749304	A	2018年 3月 2日	无			
CN	107483761	A	2017年 12月 15日	无			
CN	106161823	A	2016年 11月 23日	无			
CN	104883462	A	2015年 9月 2日	CN	104883462	B	2018年 8月 7日
CN	104616658	A	2015年 5月 13日	无			
JP	2009284465	A	2009年 12月 3日	JP	5057109	B2	2012年 10月 24日
US	2011044448	A1	2011年 2月 24日	US	8600039	B2	2013年 12月 3日