(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
2020 年 8 月 27 日 (27.08.2020)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2020/168981 A1

(51) 国际专利分类号:
H04R 1/10 (2006.01) *H04R 3/00* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/075196

(22) 国际申请日: 2020 年 2 月 14 日 (14.02.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910129183.X 2019年2月21日 (21.02.2019) 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)。 毕海 (BI, Hai); 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,

WO 2020/168981 A1

(54) **Title:** WIND NOISE SUPPRESSION METHOD AND APPARATUS

(54) 发明名称: 风噪声抑制方法及装置

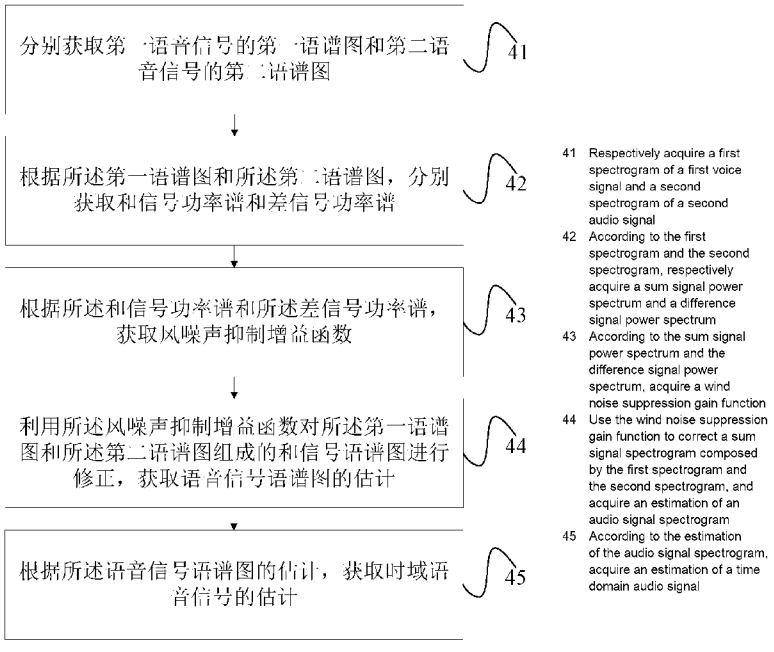


图 4

(57) **Abstract:** Provided by the present disclosure are a wind noise suppression method and apparatus. The wind noise suppression method comprises: respectively acquiring a first spectrogram of a first voice signal and a second spectrogram of a second audio signal; according to the first spectrogram and the second spectrogram, respectively acquiring a sum signal power spectrum and a difference signal power spectrum; according to the sum signal power spectrum and the difference signal power spectrum, acquiring a wind noise suppression gain function; using the wind noise suppression gain function to correct a sum signal spectrogram composed by the first

[见续页]

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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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))。

spectrogram and the second spectrogram, and acquiring an estimation of an audio signal spectrogram; and according to the estimation of the audio signal spectrogram, acquiring an estimation of a time domain audio signal.

(57) 摘要：本公开提供了一种风噪声抑制方法及装置。该风噪声抑制方法，包括：分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图；根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱；根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数；利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计；根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计。

风噪声抑制方法及装置

相关申请的交叉引用

本申请主张在 2019 年 2 月 21 日在中国提交的中国专利申请号 No. 201910129183.X 的优先权，其全部内容通过引用包含于此。

技术领域

本公开涉及语音信号处理技术领域，特别涉及一种风噪声抑制方法及装置。

背景技术

在蓝牙（Bluetooth， BT）耳机的应用中，风噪声的有效抑制是其中的一个亟待解决的主要问题之一，但是迄今为止在 BT 耳机的应用中尚无类似的技术与方法。

发明内容

本公开的一些实施例提供一种风噪声抑制方法及装置，以解决相关技术中不存在 BT 耳机的风噪声的有效抑制方案，无法准确获取 BT 耳机的语音信号的问题。

为了解决上述技术问题，本公开的一些实施例提供一种风噪声抑制方法，包括：

分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图；

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱；

根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数；

利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计；

根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计。

进一步地，所述分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图，包括：

对所述第一语音信号和所述第二语音信号分别进行短时傅里叶变换STFT 或者用分析滤波器组 AFB 进行子带变换，获取所述第一语音信号的第一语谱图和所述第二语音信号的第二语谱图。

可选地，在所述分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图之前，还包括：

分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号。

进一步地，所述分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号，包括：

对第一麦克风的接收信号进行延时处理，得到第一语音信号；

对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

进一步地，所述对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号，包括：

获取 FIR 滤波器系数；

根据所述 FIR 滤波器系数，对所述第二麦克风的接收信号进行 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

可选地，所述获取 FIR 滤波器系数，包括：

将所述第一麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第一输出信号；

将所述第一输出信号进行延时处理，得到参考信号；

将所述第二麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第二输出信号；

对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号；

利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自

适应迭代更新。

具体地，所述对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号，包括：

利用 FIR 滤波器对所述第二输出信号进行滤波处理，获取估计信号。

进一步地，所述利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新，包括：

根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量；

根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

进一步地，所述根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量，包括：

根据公式：$\mathrm{Vad_Flag(n)}=\begin{cases}1, & 若\ r_{x1x2}(n)\geq \mathrm{Th_1}\\ 0, & 若\ r_{x1x2}(n)<Th_2\\ \frac{r_{x1x2}(n)-Th_2}{\mathrm{Th_1}-Th_2}, & 若\ Th_2\leq r_{x1x2}(n)<\mathrm{Th_1}\end{cases}$，获取 VAD 输出的软判决标志变量；

其中，$\mathrm{Vad_Flag(n)}$为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；$r_{x1x2}(n)$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数系数，且$r_{x1x2}(n)=\frac{|R_{x1x2}(n)|}{\sqrt{R_{x1x1}(n)\cdot R_{x2x2}(n)}}$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)=\alpha\cdot R_{x1x2}(n-1)+(1-\alpha)\cdot x_{1hpf}(n)\cdot x_{2hpf}(n)}$，α为预定的平滑系数参数、且$0<\alpha<1$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)}$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数；$R_{x1x1}(n)$为第一输出信号的自相关函数；$R_{x2x2}(n)$为第二输出信号的自相关函数；$\mathrm{x_{1hpf}(n)}$为第一输出信号，$\mathrm{x_{2hpf}(n)}$为第二输出信号，$R_{xixi}(n)=\alpha\cdot R_{xixi}(n-1)+(1-\alpha)\cdot x_{ihpf}(n)\cdot x_{ihpf}(n), i=1$ 或 2；$\mathrm{Th_2}$和$\mathrm{Th_1}$为 VAD 预设的判决门限参数、且$0\leq \mathrm{Th_2}<\mathrm{Th_1}<1$；n 为样本时间索引。

进一步地，所述根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信

号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新，包括：

根据公式：$\vec{\mathrm{h}}(n+1)=\vec{h}(n)+\mathrm{Vad_Flag(n)}\cdot\beta\cdot\mathrm{e(n)}\cdot\frac{\vec{x}_{2hpf}(n)}{\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{x}_{2hpf}(n)+\delta}$，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新；

其中，$\vec{\mathrm{h}}(n+1)$为第$n+1$时刻 FIR 滤波器系数矢量；$\vec{h}(n)$为第n时刻 FIR 滤波器系数矢量；Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；β为预设的学习率参数，且$0<\beta<2$；e(n)为误差信号，且$\mathrm{e(n)}=x_{ref}(n)-x_{est}(n)=x_{ref}(n)-\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{h}(n)$，$x_{ref}(n)$为参考信号，$x_{est}(n)$为估计信号，$\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)=[x_{2hpf}(n),x_{2hpf}(n-1),\ldots,x_{2hpf}(n-L+1)]^{T}$，T 为矢量的转置运算符，$x_{2hpf}(n)$为第二输出信号；δ为预设的小常数型正则化因子，且$\delta>0$；n 为样本时间索引。

可选地，所述根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱，包括：

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号语谱图和差信号语谱图；

分别获取所述和信号语谱图对应的和信号功率谱和所述差信号语谱图对应的差信号功率谱。

具体地，所述和信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_s}(k,t)=\gamma\cdot P_{y_s}(k,t-1)+(1-\gamma)\cdot|Y_s(k,t)|^2$，获取和信号功率谱；

其中，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0<\gamma<1$；$P_{y_s}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_s(k,t)$为和信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

具体地，所述差信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_d}(k,t)=\gamma\cdot P_{y_d}(k,t-1)+(1-\gamma)\cdot|Y_d(k,t)|^2$，获取差信号功率谱；

其中，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0<\gamma<1$；$P_{y_d}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_d(k,t)$为差信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

进一步地，所述根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数，包括：

根据公式：$G(k,t)=\psi\{R(k,t)\}$，获取风噪声抑制增益函数；

其中，$G(k,t)$为风噪声抑制增益函数；$R(k,t)=\frac{P_{y_d}(k,t)}{P_{y_s}(k,t)+\varepsilon}$，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$\varepsilon$为预设的小常数型正则化因子，且$\varepsilon>0$；$\psi\{\cdot\}$为单调递减函数；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

本公开的一些实施例还提供一种风噪声抑制装置，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程序；其中，所述处理器执行所述程序时实现以下步骤：

分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图；

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱；

根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数；

利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计；

根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计。

具体地，所述处理器执行所述分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图的程序时实现以下步骤：

对所述第一语音信号和所述第二语音信号分别进行短时傅里叶变换 STFT 或者用分析滤波器组 AFB 进行子带变换，获取所述第一语音信号的第一语谱图和所述第二语音信号的第二语谱图。

可选地，所述处理器执行所述程序时还实现以下步骤：

分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号。

进一步地，所述处理器执行所述分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号的程序时实现以下步骤：

对第一麦克风的接收信号进行延时处理，得到第一语音信号；

对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

可选地，所述处理器执行所述对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号的程序时实现以下步骤：

获取 FIR 滤波器系数；

根据所述 FIR 滤波器系数，对所述第二麦克风的接收信号进行 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

进一步地，所述处理器执行所述获取 FIR 滤波器系数的程序时实现以下步骤：

将所述第一麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第一输出信号；

将所述第一输出信号进行延时处理，得到参考信号；

将所述第二麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第二输出信号；

对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号；

利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

具体地，所述处理器执行所述对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号的程序时实现以下步骤：

利用 FIR 滤波器对所述第二输出信号进行滤波处理，获取估计信号。

具体地，所述处理器执行所述利用所述参考信号与所述估计信号的差信

号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新的程序时实现以下步骤：

根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量；

根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

具体地，所述处理器执行所述根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量的程序时实现以下步骤：

根据公式：$\mathrm{Vad_Flag(n)} = \begin{cases} 1, & \text{若 } r_{x1x2}(n) \geq \mathrm{Th_1} \\ 0, & \text{若 } r_{x1x2}(n) < Th_2 \\ \frac{r_{x1x2}(n)-Th_2}{\mathrm{Th_1}-Th_2}, & \text{若 } Th_2 \leq r_{x1x2}(n) < \mathrm{Th_1} \end{cases}$，获取 VAD 输出的软判决标志变量；

其中，Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；$r_{x1x2}(n)$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数系数，且 $r_{x1x2}(n) = \frac{|R_{x1x2}(n)|}{\sqrt{R_{x1x1}(n)\cdot R_{x2x2}(n)}}$，$\mathrm{R_{x1x2}(n) = \alpha \cdot R_{x1x2}(n-1) + (1-\alpha)\cdot x_{1hpf}(n)\cdot x_{2hpf}(n)}$，α为预定的平滑系数参数、且$0 < \alpha < 1$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)}$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数；$R_{x1x1}(n)$为第一输出信号的自相关函数；$R_{x2x2}(n)$为第二输出信号的自相关函数；$\mathrm{x_{1hpf}(n)}$为第一输出信号，$\mathrm{x_{2hpf}(n)}$为第二输出信号，$R_{xixi}(n) = \alpha \cdot R_{xixi}(n-1) + (1-\alpha)\cdot x_{ihpf}(n)\cdot x_{ihpf}(n), i = 1$ 或 2；$\mathrm{Th_2}$和$\mathrm{Th_1}$为 VAD 预设的判决门限参数、且$0 \leq \mathrm{Th_2} < \mathrm{Th_1} < 1$；n 为样本时间索引。

进一步地，所述处理器执行所述根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新的程序时实现以下步骤：

根据公式：$\vec{\mathrm{h}}(n+1) = \vec{h}(n) + \mathrm{Vad_Flag(n)}\cdot \beta \cdot \mathrm{e(n)} \cdot \frac{\vec{x}_{2hpf}(n)}{\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot \vec{x}_{2hpf}(n)+\delta}$，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新；

其中，$\vec{h}(n+1)$为第$n+1$时刻 FIR 滤波器系数矢量；$\vec{h}(n)$为第n时刻 FIR 滤波器系数矢量；Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；β为预设的学习率参数，且$0<\beta<2$；e(n)为误差信号，且$e(n)=x_{ref}(n)-x_{est}(n)=x_{ref}(n)-\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{h}(n)$，$x_{ref}(n)$为参考信号，$x_{est}(n)$为估计信号，$\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)=[x_{2hpf}(n),x_{2hpf}(n-1),\ldots,x_{2hpf}(n-L+1)]^{T}$，T 为矢量的转置运算符，$x_{2hpf}(n)$为第二输出信号；δ为预设的小常数型正则化因子，且$\delta>0$；n 为样本时间索引。

可选地，所述处理器执行所述根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱的程序时实现以下步骤：

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号语谱图和差信号语谱图；

分别获取所述和信号语谱图对应的和信号功率谱和所述差信号语谱图对应的差信号功率谱。

具体地，所述和信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_s}(k,t)=\gamma\cdot P_{y_s}(k,t-1)+(1-\gamma)\cdot|Y_s(k,t)|^2$，获取和信号功率谱；

其中，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0<\gamma<1$；$P_{y_s}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_s(k,t)$为和信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

具体地，所述差信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_d}(k,t)=\gamma\cdot P_{y_d}(k,t-1)+(1-\gamma)\cdot|Y_d(k,t)|^2$，获取差信号功率谱；

其中，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0<\gamma<1$；$P_{y_d}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_d(k,t)$为差信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

进一步地，所述处理器执行所述根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数的程序时实现以下步骤：

根据公式：$G(k,t)=\psi\{R(k,t)\}$，获取风噪声抑制增益函数；

其中，$G(k,t)$为风噪声抑制增益函数；$R(k,t)=\frac{P_{y_d}(k,t)}{P_{y_s}(k,t)+\varepsilon}$，$P_{y_d}(k,t)$为第t帧第k个子带的差信号功率谱，$P_{y_s}(k,t)$为第t帧第k个子带的和信号功率谱；$\varepsilon$为预设的小常数型正则化因子，且$\varepsilon>0$；$\psi\{\cdot\}$为单调递减函数；t为信号帧的时间索引，k为子带索引。

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实现上述的风噪声抑制方法中的步骤。

本公开的一些实施例还提供一种风噪声抑制装置，包括：

第一获取模块，用于分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图；

第二获取模块，用于根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱；

第三获取模块，用于根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数；

第四获取模块，用于利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计；

第五获取模块，用于根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计。

本公开的有益效果是：

上述方案，通过利用第一语谱图和第二语谱图得到的和信号功率谱和差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数，并利用该风噪声抑制增益函数对信号语谱图进行修正，进而获取时域语音信号的估计，以此可以准确的获取BT

耳机的语音信号，且该方案，具有收敛速度快、计算复杂度低、易于在商用芯片上实时工程化实现的优点。

附图说明

图 1 表示$y_s(n)$和$y_d(n)$的获取过程示意图；

图 2 表示 Log-Log 域中参数 R 到噪声抑制增益 G 的单调递减非线性映射 Ψ 的一种实现方式示意图；

图 3 表示麦克风校准的实现原理示意图；

图 4 表示本公开的一些实施例的风噪声抑制方法的流程示意图；

图 5 表示本公开的具体实现原理示意图；

图 6 表示本公开的一些实施例的风噪声抑制装置的模块示意图；以及

图 7 表示本公开的一些实施例的风噪声抑制装置的结构示意图。

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。

本公开针对相关技术中不存在 BT 耳机的风噪声的有效抑制方案，无法准确获取 BT 耳机的语音信号的问题，提供一种风噪声抑制方法及装置。

本公开提出应用短间距的双麦克风阵列（麦克风间距 d = 2-3 cm）来进行风噪声抑制的新方法，以便解决 BT 耳机应用中所面临的风噪声抑制问题。

下面对本公开的一些实施例的实现原理进行具体说明如下。

首先设有两个麦克风，其间距为 d 米，且它们在幅度和相位上完全匹配；声学波矢量$\vec{k}$与两麦克风连线成 θ 角；那么麦克风 1 和麦克风 2 所接收的信号 $p_1(n)$和 $p_2(n)$分别用公式一和公式二表示为：

公式一、$p_1(n) = s(n) + v(n) + n_1(n)$

公式二、$p_2(n) = s(n - \tau_s) + v(n - \tau_v) + n_2(n)$

其中，τ_s和τ_v分别为声学信号 s(n) 的传播延时和风传播波 v(n)的传播延时，$n_1(n)$和$n_2(n)$分别代表麦克风 1 和麦克风 2 的自身噪声或位于麦克风处的不相关湍流噪声。用它们构成的和信号 $y_s(n)$与差信号 $y_d(n)$分别为：

公式三、$y_s(n) = p_1(n) + p_2(n) = \{s(n) + s(n-\tau_s)\} + \{v(n) + v(n-\tau_v)\} + \{n_1(n) + n_2(n)\}$

公式四、$y_d(n) = p_1(n) - p_2(n) = \{s(n) - s(n-\tau_s)\} + \{v(n) - v(n-\tau_v)\} + \{n_1(n) - n_2(n)\}$

$y_s(n)$和$y_d(n)$的具体获取过程如图 1 所示。

$y_s(n)$和$y_d(n)$对应的功率谱分别为如公式五和公式六所示：

公式五（和信号功率谱）、

$$P_{y_s}(\omega) = 4P_s^2(\omega) + 4P_v^2(\omega)\gamma_c^2(\omega) + 2P_v^2(\omega)[1-\gamma_c^2(\omega)] + N_1^2(\omega) + N_2^2(\omega)$$

公式六（差信号功率谱）、

$$P_{y_d}(\omega) = 4P_s^2(\omega)sin^2\left(\frac{\omega d cos\theta}{2c_s}\right) + 4P_v^2(\omega)\gamma_c^2(\omega)sin^2\left(\frac{\omega d cos\theta}{2c_v}\right) + 2P_v^2(\omega)[1-\gamma_c^2(\omega)] + N_1^2(\omega) + N_2^2(\omega)$$

其中，$P_s(\omega)$为语音信号的正弦波均方根（RMS）功率，$P_v(\omega)$为湍流噪声的RMS 功率，$N_1(\omega)$和$N_2(\omega)$分别为麦克风 1 和麦克风 2 处独立噪声的RMS 功率；$\gamma_c(\omega)$为湍流相关系数，它由 Corcos 湍流模型确定。

将公式六除以公式五可得二个麦克风间“差信号”功率与“和信号”功率之比 R 如下：

公式七、$R(\omega) = \frac{P_{y_d}(\omega)}{P_{y_s}(\omega)}$

根据公式五和公式六，我们进一步考察公式七可知：在无声学信号的情况下，R 的值趋于 1；而在有声学信号时且信噪比（SNR）较大的情况下，R 的值趋于 0。因此 R 可用作一个统计量，并将其与某一判决门限作比较，来判定麦克风接收的信号是来自湍流噪声/麦克风自身噪声还是含噪的语音信号。

显而易见，比值参数 R 的大小反比于运行环境的 SNR。应注意的是，在 SNR 很高的情况下（记此时相应的比值参数 R 为 Rmin，相应的噪声抑制增益 G 为 SGmin）无需进行噪声抑制，即噪声抑制增益 SGmin = 0 dB；而在 SNR 很低的情况下（记此时相应的比值参数 R 为 Rmax，相应的噪声抑制增益 G 为 SGmax）需要进行噪声抑制。因此噪声抑制增益 G 可通过比值参数 R 的一种单调递减的非线性数学映射而获得，即：

公式八、$G(\omega) \triangleq \psi\{R(\omega)\}$

这里需要说明的是，$\psi\{\cdot\}$为单调递减函数。

例如，图 2 为这种递减而单调的非线性数学映射的一种实现方式。

应该指出的是，上述的结果是在假设条件“两个麦克风在幅度和相位上完全匹配”的情况下获得的，然而实际中两个麦克风要做到幅度和相位上的完全匹配是十分困难的，即便在麦克风产品出场时进行了人工的校准，但随着时间的推移，这已校准的两个麦克风也会在其幅度和相位上产生失配。为此，本公开提出一种麦克风自动校准算法，其原理如图 3 所示，其中麦克风 1 的接收信号 $x_1(n)$首先经高通滤波器（HPF）滤波处理生成输出 $x_{1hpf}(n)$，将它延时$\tau = [L/2]$样本后生成参考信号 $x_{ref}(n)$，其中，L 为滤波器长度；麦克风 2 的接收信号 $x_2(n)$首先经高通滤波器（HPF）滤波处理生成输出 $x_{2hpf}(n)$，用自适应有限冲激响应（FIR）滤波器$\vec{h}(n) \triangleq [h_0(n), h_1(n), \ldots, h_{L-1}(n)]^T$对 $x_{2hpf}(n)$进行滤波获得估计信号 $x_{est}(n)$；参考信号和估计信号的差信号 $e(n)$用来驱动 FIR 滤波器$\vec{h}(n)$系数的自适应迭代更新，该自适应迭代算法可以是归一化最小均方（NLMS）算法，也可以是仿射投影算法（APA）。FIR 滤波器$\vec{h}(n)$系数的自适应迭代更新必须在有语音信号的条件下进行，而在无语音信号时，该迭代更新过程必须停止。为此需要一个语音活性检测器（VAD）来检测语音信号段，当 VAD 检测到语音信号时，其输出标志 Vad_Flag 置为 1，否则其输出标志 Vad_Flag 置为 0。这里需要说明的是：风噪声信号通常分布在低频段，为了减小风噪对 VAD 和 FIR 滤波器$\vec{h}(n)$系数自适应迭代的影响，我们采

用 HPF（其截止频率 Fc=1 kHz）对两个麦克风接收信号进行滤波处理。那么 HPF 的输出信号 $x_{1hpf}(n)$ 和 $x_{2hpf}(n)$ 之间在语音段具有较强的相关性而在非语音段具有较弱的相关性或不相关；鉴于这一特性，我们按如下方法进行 VAD 处理：

首先按下式分别在线计算 HPF 的输出信号 $x_{1hpf}(n)$ 和 $x_{2hpf}(n)$ 的自相关函数 $R_{x1x1}(n)$ 和 $R_{x2x2}(n)$ 及二者的互相关函数 $R_{x1x2}(n)$：

公式九、$R_{x1x2}(n) = \alpha \cdot R_{x1x2}(n-1) + (1-\alpha) \cdot x_{1hpf}(n) \cdot x_{2hpf}(n)$

公式十、$R_{xixi}(n) = \alpha \cdot R_{xixi}(n-1) + (1-\alpha) \cdot x_{ihpf}(n) \cdot x_{ihpf}(n), i = 1,2$

其中，$0 < \alpha < 1$为预定的平滑系数参数。

然后，计算按下式计算互相关系数 $r_{x1x2}(n)$：

公式十一、$r_{x1x2}(n) \triangleq \frac{|R_{x1x2}(n)|}{\sqrt{R_{x1x1}(n) \cdot R_{x2x2}(n)}}$

那么，VAD 输出的软判决标志变量 Vad_Flag(n) 定义为：

公式十二、$\text{Vad_Flag(n)} \triangleq \begin{cases} 1, & \text{若 } r_{x1x2}(n) \geq Th_1 \\ 0, & \text{若 } r_{x1x2}(n) < Th_2 \\ \frac{r_{x1x2}(n) - Th_2}{Th_1 - Th_2}, & \text{若 } \mathrm{Th}_2 \leq r_{x1x2}(n) < \mathrm{Th}_1 \end{cases}$

其中，$0 \leq \mathrm{Th}_2 < \mathrm{Th}_1 < 1$为 VAD 预设的判决门限参数。

用公式十二确定的 VAD 软判决标志变量 Vad_Flag(n) 乘以 FIR 滤波器 $\vec{h}(n)$ 系数自适应迭代算法中的学习率参数，即可有效地完成两个麦克风之间自动校准的任务。作为一个实施例，我们给出两麦克风之间自动校准的 NLMS 算法的示例如下：

公式十三、$\vec{h}(n+1) = \vec{h}(n) + \text{Vad_Flag(n)} \cdot \beta \cdot e(n) \cdot \frac{\vec{x}_{2hpf}(n)}{\vec{x}_{2hpf}^{T}(n) \cdot \vec{x}_{2hpf}(n) + \delta}$

其中，$0 < \beta < 2$为预设的学习率参数，$\delta > 0$为一个预设的小常数型正则化因子，误差信号 e(n) 用公式十四表示为：

公式十四、$e(n) = x_{ref}(n) - x_{est}(n) = x_{ref}(n) - \vec{x}_{2hpf}^{T}(n) \cdot \vec{h}(n)$；

公式十五、$\vec{x}_{2hpf}^{T}(n) \triangleq [x_{2hpf}(n), x_{2hpf}(n-1), \ldots, x_{2hpf}(n-L+1)]^T$。

下面对本公开的一些实施例的具体实现方式说明如下。

如图 4 所示，本公开的一些实施例提供一种风噪声抑制方法，包括：

步骤 41，分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图；

步骤 42，根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱；

步骤 43，根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数；

步骤 44，利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计；

步骤 45，根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计。

进一步地，所述步骤 41 的具体实现方式为：

对所述第一语音信号和所述第二语音信号分别进行短时傅里叶变换（STFT）或者用分析滤波器组（Analysis Filter Bank，AFB）进行子带变换，获取所述第一语音信号的第一语谱图和所述第二语音信号的第二语谱图。

可选地，在所述步骤 41 之前，所述风噪声抑制方法，还包括：

分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号。

需要说明的是，该第一麦克风指的是上述的麦克风 1，该第二麦克风指的是上述的麦克风 2；该第一语音信号对应上述的$p_1(n)$，该第二语音信号对应上述的$p_2(n)$。

进一步地，所述分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号的步骤的具体实现方式为：

对第一麦克风的接收信号进行延时处理，得到第一语音信号；

对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语

音信号。

具体地，所述对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号的步骤的具体实现方式为：

获取 FIR 滤波器系数；

根据所述 FIR 滤波器系数，对所述第二麦克风的接收信号进行 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

进一步地，所述获取 FIR 滤波器系数的步骤的具体实现方式为：

将所述第一麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第一输出信号；

将所述第一输出信号进行延时处理，得到参考信号；

将所述第二麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第二输出信号；

对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号；

利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

需要说明的是，该第一输出信号对应上文描述中的 $x_{1hpf}(n)$；该参考信号对应上文描述中的 $x_{ref}(n)$；该第二输出信号对应上文描述中的 $x_{2hpf}(n)$；该估计信号对应上文描述中的 $x_{est}(n)$。

具体地，所述对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号的步骤的具体实现方式为：

利用 FIR 滤波器对所述第二输出信号进行滤波处理，获取估计信号。

进一步地，所述利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新的步骤的具体实现方式为：

根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量；

根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

具体地，所述根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活

性检测 VAD 输出的软判决标志变量的步骤的具体实现方式为：

根据上述公式十二：

$$\mathrm{Vad_Flag(n)}=\begin{cases}1, & \text{若 } r_{x1x2}(n)\geq \mathrm{Th_1}\\ 0, & \text{若 } r_{x1x2}(n)<Th_2\\ \frac{r_{x1x2}(n)-Th_2}{Th_1-Th_2}, & \text{若 } Th_2\leq r_{x1x2}(n)<\mathrm{Th_1}\end{cases}$$，获取 VAD 输出的软判决标志变量；

其中，Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；$r_{x1x2}(n)$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数系数，且 $r_{x1x2}(n)=\frac{|R_{x1x2}(n)|}{\sqrt{R_{x1x1}(n)\cdot R_{x2x2}(n)}}$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)=\alpha\cdot R_{x1x2}(n-1)+(1-\alpha)\cdot x_{1hpf}(n)\cdot x_{2hpf}(n)}$，α为预定的平滑系数参数、且$0<\alpha<1$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)}$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数；$R_{x1x1}(n)$为第一输出信号的自相关函数；$R_{x2x2}(n)$为第二输出信号的自相关函数；$\mathrm{x_{1hpf}(n)}$为第一输出信号，$\mathrm{x_{2hpf}(n)}$为第二输出信号，$R_{xixi}(n)=\alpha\cdot R_{xixi}(n-1)+(1-\alpha)\cdot x_{ihpf}(n)\cdot x_{ihpf}(n),i=1$ 或 2；$\mathrm{Th_2}$和$\mathrm{Th_1}$为 VAD 预设的判决门限参数、且$0\leq \mathrm{Th_2}<\mathrm{Th_1}<1$；n 为样本时间索引。

具体地，所述根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新的步骤的具体实现方式为：

根据上述公式十三：

$$\vec{\mathrm{h}}(n+1)=\vec{h}(n)+\mathrm{Vad_Flag(n)}\cdot\beta\cdot\mathrm{e(n)}\cdot\frac{\vec{x}_{2hpf}(n)}{\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{x}_{2hpf}(n)+\delta}$$，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新；

其中，$\vec{\mathrm{h}}(n+1)$为第$n+1$时刻 FIR 滤波器系数矢量；$\vec{h}(n)$为第n时刻 FIR 滤波器系数矢量；Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；β为预设的学习率参数，且$0<\beta<2$；e(n)为误差信号，且$\mathrm{e(n)}=x_{ref}(n)-x_{est}(n)=x_{ref}(n)-\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{h}(n)$，$x_{ref}(n)$为参考信号，$x_{est}(n)$为估计信号，$\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)=[x_{2hpf}(n),x_{2hpf}(n-1),\ldots,x_{2hpf}(n-L+1)]^{T}$，T 为矢量的转置运

算符，$x_{2hpf}(n)$为第二输出信号；δ为预设的小常数型正则化因子，且$\delta > 0$；n 为样本时间索引。

具体地，所述步骤 42 的具体实现方式为：

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号语谱图和差信号语谱图；

分别获取所述和信号语谱图对应的和信号功率谱和所述差信号语谱图对应的差信号功率谱。

进一步地，所述和信号功率谱的获取方式为：

根据公式十六：$P_{y_s}(k,t) = \gamma \cdot P_{y_s}(k,t-1) + (1-\gamma) \cdot |Y_s(k,t)|^2$，获取和信号功率谱；

其中，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0 < \gamma < 1$；$P_{y_s}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_s(k,t)$为和信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

进一步地，所述差信号功率谱的获取方式为：

根据公式十七：$P_{y_d}(k,t) = \gamma \cdot P_{y_d}(k,t-1) + (1-\gamma) \cdot |Y_d(k,t)|^2$，获取差信号功率谱；

其中，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0 < \gamma < 1$；$P_{y_d}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_d(k,t)$为差信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

还需要说明的是，所述步骤 53 具体实现方式为：

根据公式十八（该公式十八由上述公式八推理得到）：$\mathrm{G}(k,t) = \psi\{\mathrm{R}(k,t)\}$，获取风噪声抑制增益函数；

其中，$\mathrm{G}(k,t)$为风噪声抑制增益函数；$\mathrm{R}(k,t) = \frac{P_{y_d}(k,t)}{P_{y_s}(k,t)+\varepsilon}$，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；ε为预设的小常数型正则化因子，且$\varepsilon > 0$；$\psi\{\cdot\}$为单调递减函数；t 为信号帧

的时间索引，k 为子带索引。

这里需要说明的是，该单调递减函数包括但不限于如图 2 所示的情况，可以是任一种单调递减的线性和非线性函数。

综上所述，本公开提出的用短间距双麦克风阵列对风噪声进行抑制的方法的系统原理框图如图 5 所示，首先用麦克风自动校准模块对双麦克风间一致的匹配性进行校准，然后对校准后的两麦克风信号 $p_1(n)$ 和 $p_2(n)$ 分别进行 STFT 或用 AFB 进行子带变换，从而获得相应的两路信号的语谱图 $Y_1(k,t)$ 和 $Y_2(k,t)$，用它们分别形成“和信号”语谱图 $Y_s(k,t)$ 与“差信号”语谱图 $Y_d(k,t)$，并在线地计算其对应的功率谱 $P_{ys}(k,t)$ 与 $P_{yd}(k,t)$，根据 $P_{ys}(k,t)$ 与 $P_{yd}(k,t)$ 计算特征变量 $R(k,t)$，据此通过一个单调递减的非线性映射函数 Ψ 来计算出风噪声抑制增益函数 $G(k,t)$，用它来修正“和信号语谱图”$Y_s(k,t)$，从而获得语音信号语谱图的估计 $\hat{S}(k,t)$，最后对 $\hat{S}(k,t)$ 进行逆短时傅里叶变换（ISTFT）或应用合成滤波器组（SBF），从而获得时域语音信号的估计 $\hat{s}(n)$。

需要说明的是，本公开的一些实施例，通过利用第一语谱图和第二语谱图得到的和信号功率谱和差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数，并利用该风噪声抑制增益函数对信号语谱图进行修正，进而获取时域语音信号的估计，以此可以准确的获取 BT 耳机的语音信号，且该方案具有收敛速度快、计算复杂度低、易于在商用芯片上实时工程化实现的优点。

如图 6 所示，本公开的一些实施例还提供一种风噪声抑制装置 60，包括：

第一获取模块 61，用于分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图；

第二获取模块 62，用于根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱；

第三获取模块 63，用于根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数；

第四获取模块 64，用于利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图

和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计；

第五获取模块 65，用于根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计。

进一步地，所述第一获取模块 61，用于：

对所述第一语音信号和所述第二语音信号分别进行短时傅里叶变换 STFT 或者用分析滤波器组 AFB 进行子带变换，获取所述第一语音信号的第一语谱图和所述第二语音信号的第二语谱图。

可选地，在所述第一获取模块 61 分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图之前，还包括：

第六获取模块，用于分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号。

进一步地，所述第六获取模块，包括：

第一获取子模块，用于对第一麦克风的接收信号进行延时处理，得到第一语音信号；

第二获取子模块，用于对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

进一步地，所述第二获取子模块，包括：

获取单元，用于获取 FIR 滤波器系数；

处理单元，用于根据所述 FIR 滤波器系数，对所述第二麦克风的接收信号进行 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

进一步地，所述获取单元，包括：

第一处理子单元，用于将所述第一麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第一输出信号；

第二处理子单元，用于将所述第一输出信号进行延时处理，得到参考信号；

第三处理子单元，用于将所述第二麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第二输出信号；

第四处理子单元，用于对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号；

更新子单元，用于利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

进一步地，所述第四处理子单元，用于：

利用 FIR 滤波器对所述第二输出信号进行滤波处理，获取估计信号。

进一步地，所述更新子单元，用于：

根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量；

根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

进一步地，所述更新子单元根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量，具体实现方式为：

根据公式：$\mathrm{Vad_Flag(n)} = \begin{cases} 1, & 若\ r_{x1x2}(n) \geq \mathrm{Th_1} \\ 0, & 若\ r_{x1x2}(n) < Th_2 \\ \frac{r_{x1x2}(n)-\mathrm{Th_2}}{Th_1-Th_2}, & 若\ Th_2 \leq r_{x1x2}(n) < \mathrm{Th_1} \end{cases}$，获取 VAD 输出的软判决标志变量；

其中，$\mathrm{Vad_Flag(n)}$为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；$r_{x1x2}(n)$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数系数，且 $r_{x1x2}(n) = \frac{|R_{x1x2}(n)|}{\sqrt{R_{x1x1}(n)\cdot R_{x2x2}(n)}}$，$\mathrm{R_{x1x2}(n) = \alpha \cdot R_{x1x2}(n-1) + (1-\alpha)\cdot x_{1hpf}(n)\cdot x_{2hpf}(n)}$，α为预定的平滑系数参数、且$0 < \alpha < 1$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)}$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数；$R_{x1x1}(n)$为第一输出信号的自相关函数；$R_{x2x2}(n)$为第二输出信号的自相关函数；$\mathrm{x_{1hpf}(n)}$为第一输出信号，$\mathrm{x_{2hpf}(n)}$为

第二输出信号，$R_{xixi}(n)=\alpha\cdot R_{xixi}(n-1)+(1-\alpha)\cdot x_{ihpf}(n)\cdot x_{ihpf}(n), i=$ 1 或 2；Th_2和Th_1为 VAD 预设的判决门限参数、且$0\le \mathrm{Th}_2<\mathrm{Th}_1<1$；n 为样本时间索引。

进一步地，所述更新子单元根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新，具体实现方式为：

根据公式：$\vec{\mathrm{h}}(n+1)=\vec{h}(n)+\mathrm{Vad_Flag(n)}\cdot\beta\cdot \mathrm{e(n)}\cdot\frac{\vec{x}_{2hpf}(n)}{\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{x}_{2hpf}(n)+\delta}$，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新；

其中，$\vec{\mathrm{h}}(n+1)$为第$n+1$时刻 FIR 滤波器系数矢量；$\vec{h}(n)$为第n时刻 FIR 滤波器系数矢量；Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；β为预设的学习率参数，且$0<\beta<2$；e(n)为误差信号，且$\mathrm{e(n)}=x_{ref}(n)-x_{est}(n)=x_{ref}(n)-\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{h}(n)$，$x_{ref}(n)$为参考信号，$x_{est}(n)$为估计信号，$\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)=[x_{2hpf}(n),x_{2hpf}(n-1),\ldots,x_{2hpf}(n-L+1)]^{T}$，T 为矢量的转置运算符，$x_{2hpf}(n)$为第二输出信号；δ为预设的小常数型正则化因子，且$\delta>0$；n 为样本时间索引。

进一步地，所述第二获取模块 62，包括：

第三获取子模块，用于根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号语谱图和差信号语谱图；

第四获取子模块，用于分别获取所述和信号语谱图对应的和信号功率谱和所述差信号语谱图对应的差信号功率谱。

具体地，所述和信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_s}(k,t)=\gamma\cdot P_{y_s}(k,t-1)+(1-\gamma)\cdot|Y_s(k,t)|^2$，获取和信号功率谱；

其中，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0<\gamma<1$；$P_{y_s}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；

$Y_s(k,t)$为和信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

具体地，所述差信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_d}(k,t)=\gamma\cdot P_{y_d}(k,t-1)+(1-\gamma)\cdot|Y_d(k,t)|^2$，获取差信号功率谱；

其中，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0<\gamma<1$；$P_{y_d}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_d(k,t)$为差信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

进一步，所述第三获取模块 63，用于：

根据公式：$G(k,t)=\psi\{R(k,t)\}$，获取风噪声抑制增益函数；

其中，$G(k,t)$为风噪声抑制增益函数；$R(k,t)=\frac{P_{y_d}(k,t)}{P_{y_s}(k,t)+\varepsilon}$，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$\varepsilon$为预设的小常数型正则化因子，且$\varepsilon>0$；$\psi\{\cdot\}$为单调递减函数；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

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。

如图 7 所示，本公开的一些实施例还提供一种风噪声抑制装置，包括处理器 71、存储器 72 及存储在所述存储器 72 上并可在所述处理器 71 上运行的程序；其中，所述处理器 71 用于读取存储器中的程序，执行下列过程：

分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图；

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱；

根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数；

利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计；

根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计。

需要说明的是，在图 7 中，总线架构可以包括任意数量的互联的总线和桥，具体由处理器 71 代表的一个或多个处理器和存储器 72 代表的存储器的各种电路链接在一起。总线架构还可以将诸如外围设备、稳压器和功率管理电路等之类的各种其他电路链接在一起，这些都是本领域所公知的，因此，本文不再对其进行进一步描述。总线接口提供接口。针对不同的装置，处理器 71 负责管理总线架构和通常的处理，存储器 72 可以存储处理器 71 在执行操作时所使用的数据。

进一步地，所述处理器执行所述分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图的程序时实现以下步骤：

对所述第一语音信号和所述第二语音信号分别进行短时傅里叶变换 STFT 或者用分析滤波器组 AFB 进行子带变换，获取所述第一语音信号的第一语谱图和所述第二语音信号的第二语谱图。

可选地，所述处理器执行所述程序时还实现以下步骤：

分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号。

进一步地，所述处理器执行所述分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号的程序时实现以下步骤：

对第一麦克风的接收信号进行延时处理，得到第一语音信号；

对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

进一步地，所述处理器执行所述对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号的程序时实现以下步骤：

获取 FIR 滤波器系数；

根据所述 FIR 滤波器系数，对所述第二麦克风的接收信号进行 FIR 滤波

处理，得到第二语音信号。

进一步地，所述处理器执行所述获取 FIR 滤波器系数的程序时实现以下步骤：

将所述第一麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第一输出信号；

将所述第一输出信号进行延时处理，得到参考信号；

将所述第二麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第二输出信号；

对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号；

利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

进一步地，所述处理器执行所述对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号的程序时实现以下步骤：

利用 FIR 滤波器对所述第二输出信号进行滤波处理，获取估计信号。

进一步地，所述处理器执行所述利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新的程序时实现以下步骤：

根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量；

根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

进一步地，所述处理器执行所述根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量的程序时实现以下步骤：

根据公式：$\mathrm{Vad_Flag(n)} = \begin{cases} 1, & 若\ r_{x1x2}(n) \geq \mathrm{Th}_1 \\ 0, & 若\ r_{x1x2}(n) < Th_2 \\ \frac{r_{x1x2}(n)-\mathrm{Th}_2}{\mathrm{Th}_1-Th_2}, & 若\ Th_2 \leq r_{x1x2}(n) < \mathrm{Th}_1 \end{cases}$，获取 VAD 输出的软判决标志变量；

其中，Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；$r_{x1x2}(n)$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数系数，且

$r_{x1x2}(n)=\frac{|R_{x1x2}(n)|}{\sqrt{R_{x1x1}(n)\cdot R_{x2x2}(n)}}$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)=\alpha\cdot R_{x1x2}(n-1)+(1-\alpha)\cdot x_{1hpf}(n)\cdot x_{2hpf}(n)}$，α为预定的平滑系数参数、且$0<\alpha<1$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)}$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数；$R_{x1x1}(n)$为第一输出信号的自相关函数；$R_{x2x2}(n)$为第二输出信号的自相关函数；$\mathrm{x_{1hpf}(n)}$为第一输出信号，$\mathrm{x_{2hpf}(n)}$为第二输出信号，$R_{xixi}(n)=\alpha\cdot R_{xixi}(n-1)+(1-\alpha)\cdot x_{ihpf}(n)\cdot x_{ihpf}(n), i=1$ 或 2；$\mathrm{Th_2}$和$\mathrm{Th_1}$为 VAD 预设的判决门限参数、且$0\le \mathrm{Th_2}<\mathrm{Th_1}<1$；n 为样本时间索引。

进一步地，所述处理器执行所述根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新的程序时实现以下步骤：

根据公式：$\vec{\mathrm{h}}(n+1)=\vec{h}(n)+\mathrm{Vad_Flag(n)}\cdot\beta\cdot\mathrm{e(n)}\cdot\frac{\vec{x}_{2hpf}(n)}{\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{x}_{2hpf}(n)+\delta}$，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新；

其中，$\vec{\mathrm{h}}(n+1)$为第$n+1$时刻 FIR 滤波器系数矢量；$\vec{h}(n)$为第n时刻 FIR 滤波器系数矢量；$\mathrm{Vad_Flag(n)}$为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；β为预设的学习率参数，且$0<\beta<2$；$\mathrm{e(n)}$为误差信号，且$\mathrm{e(n)}=x_{ref}(n)-x_{est}(n)=x_{ref}(n)-\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{h}(n)$，$x_{ref}(n)$为参考信号，$x_{est}(n)$为估计信号，$\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)=[x_{2hpf}(n),x_{2hpf}(n-1),\ldots,x_{2hpf}(n-L+1)]^{T}$，T 为矢量的转置运算符，$x_{2hpf}(n)$为第二输出信号；δ为预设的小常数型正则化因子，且$\delta>0$；n 为样本时间索引。

可选地，所述处理器执行所述根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱的程序时实现以下步骤：

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号语谱图和差信号语谱图；

分别获取所述和信号语谱图对应的和信号功率谱和所述差信号语谱图对应的差信号功率谱。

具体地，所述和信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_s}(k,t)=\gamma\cdot P_{y_s}(k,t-1)+(1-\gamma)\cdot|Y_s(k,t)|^2$，获取和信号功率谱；

其中，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0<\gamma<1$；$P_{y_s}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_s(k,t)$为和信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

具体地，所述差信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_d}(k,t)=\gamma\cdot P_{y_d}(k,t-1)+(1-\gamma)\cdot|Y_d(k,t)|^2$，获取差信号功率谱；

其中，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0<\gamma<1$；$P_{y_d}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_d(k,t)$为差信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

进一步地，所述处理器执行所述根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数的程序时实现以下步骤：

根据公式：$G(k,t)=\psi\{R(k,t)\}$，获取风噪声抑制增益函数；

其中，$G(k,t)$为风噪声抑制增益函数；$R(k,t)=\frac{P_{y_d}(k,t)}{P_{y_s}(k,t)+\varepsilon}$，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$\varepsilon$为预设的小常数型正则化因子，且$\varepsilon>0$；$\psi\{\cdot\}$为单调递减函数；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

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上述的风噪声抑制方法。

本领域普通技术人员可以意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方

法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本公开的范围。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，上述描述的系统、装置和单元的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

在本申请所提供的实施例中，应该理解到，所揭露的装置和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，所述单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。

所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

另外，在本公开各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。

所述功能如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用时，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本公开的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等)执行本公开各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U 盘、移动硬盘、ROM、RAM、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

此外，需要指出的是，在本公开的装置和方法中，显然，各部件或各步骤是可以分解和/或重新组合的。这些分解和/或重新组合应视为本公开的等效方案。并且，执行上述系列处理的步骤可以自然地按照说明的顺序按时间顺序执行，但是并不需要一定按照时间顺序执行，某些步骤可以并行或彼此独立地执行。对本领域的普通技术人员而言，能够理解本公开的方法和装置的全部或者任何步骤或者部件，可以在任何计算装置（包括处理器、存储介质等）或者计算装置的网络中，以硬件、固件、软件或者它们的组合加以实现，这是本领域普通技术人员在阅读了本公开的说明的情况下运用他们的基本编程技能就能实现的。

可以理解的是，本公开实施例描述的这些实施例可以用硬件、软件、固件、中间件、微码或其组合来实现。对于硬件实现，模块、单元、子模块、子单元等可以实现在一个或多个专用集成电路(Application Specific Integrated Circuits，ASIC)、数字信号处理器(Digital Signal Processing，DSP)、数字信号处理设备(DSP Device，DSPD)、可编程逻辑设备(Programmable Logic Device，PLD)、现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array，FPGA)、通用处理器、控制器、微控制器、微处理器、用于执行本公开所述功能的其它电子单元或其组合中。

对于软件实现，可通过执行本公开实施例所述功能的模块(例如过程、函数等）来实现本公开实施例所述的技术。软件代码可存储在存储器中并通过处理器执行。存储器可以在处理器中或在处理器外部实现。

因此，本公开的目的还可以通过在任何计算装置上运行一个程序或者一组程序来实现。所述计算装置可以是公知的通用装置。因此，本公开的目的也可 以仅仅通过提供包含实现所述方法或者装置的程序代码的程序产品来实现。也就是说，这样的程序产品也构成本公开，并且存储有这样的程序产品的存储介质也构成本公开。显然，所述存储介质可以是任何公知的存储介质或者将来所开发出来的任何存储介质。还需要指出的是，在本公开的装置

和方法中，显然，各部件或各步骤是可以分解和/或重新组合的。这些分解和/或重新组合应视为本公开的等效方案。并且，执行上述系列处理的步骤可以自然地按照说明的顺序按时间顺序执行，但是并不需要一定按照时间顺序执行。某些步骤可以并行或彼此独立地执行。

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

1．一种风噪声抑制方法，包括：

分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图；

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱；

根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数；

利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计；

根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计。

2．根据权利要求 1 所述的风噪声抑制方法，其中，所述分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图，包括：

对所述第一语音信号和所述第二语音信号分别进行短时傅里叶变换 STFT 或者用分析滤波器组 AFB 进行子带变换，获取所述第一语音信号的第一语谱图和所述第二语音信号的第二语谱图。

3．根据权利要求 1 所述的风噪声抑制方法，其中，在所述分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图之前，还包括：

分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号。

4．根据权利要求 3 所述的风噪声抑制方法，其中，所述分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号，包括：

对第一麦克风的接收信号进行延时处理，得到第一语音信号；

对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

5．根据权利要求 4 所述的风噪声抑制方法，其中，所述对第二麦克风的

接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号，包括：

获取 FIR 滤波器系数；

根据所述 FIR 滤波器系数，对所述第二麦克风的接收信号进行 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

6. 根据权利要求 5 所述的风噪声抑制方法，其中，所述获取 FIR 滤波器系数，包括：

将所述第一麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第一输出信号；

将所述第一输出信号进行延时处理，得到参考信号；

将所述第二麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第二输出信号；

对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号；

利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

7. 根据权利要求 6 所述的风噪声抑制方法，其中，所述对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号，包括：

利用 FIR 滤波器对所述第二输出信号进行滤波处理，获取估计信号。

8. 根据权利要求 6 所述的风噪声抑制方法，其中，所述利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新，包括：

根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量；

根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

9. 根据权利要求 8 所述的风噪声抑制方法，其中，所述根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量，包括：

根据公式：$\mathrm{Vad_Flag(n)}=\begin{cases}1, & 若\ r_{x1x2}(n)\geq \mathrm{Th_1}\\ 0, & 若\ r_{x1x2}(n)<Th_2\\ \frac{r_{x1x2}(n)-Th_2}{Th_1-Th_2}, & 若\ Th_2\leq r_{x1x2}(n)<\mathrm{Th_1}\end{cases}$，获取 VAD 输出的软判决标志变量；

其中，Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；$r_{x1x2}(n)$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数系数，且$r_{x1x2}(n)=\frac{|R_{x1x2}(n)|}{\sqrt{R_{x1x1}(n)\cdot R_{x2x2}(n)}}$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)=\alpha\cdot R_{x1x2}(n-1)+(1-\alpha)\cdot x_{1hpf}(n)\cdot x_{2hpf}(n)}$，α为预定的平滑系数参数、且$0<\alpha<1$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)}$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数；$R_{x1x1}(n)$为第一输出信号的自相关函数；$R_{x2x2}(n)$为第二输出信号的自相关函数；$\mathrm{x_{1hpf}(n)}$为第一输出信号，$\mathrm{x_{2hpf}(n)}$为第二输出信号，$R_{xixi}(n)=\alpha\cdot R_{xixi}(n-1)+(1-\alpha)\cdot x_{ihpf}(n)\cdot x_{ihpf}(n),i=$ 1 或 2；$\mathrm{Th_2}$和$\mathrm{Th_1}$为 VAD 预设的判决门限参数、且$0\leq \mathrm{Th_2}<\mathrm{Th_1}<1$；n 为样本时间索引。

10．根据权利要求 8 所述的风噪声抑制方法，其中，所述根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新，包括：

根据公式：$\vec{\mathrm{h}}(n+1)=\vec{h}(n)+\mathrm{Vad_Flag(n)\cdot\beta\cdot e(n)\cdot\frac{\vec{x}_{2hpf}(n)}{\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{x}_{2hpf}(n)+\delta}}$，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新；

其中，$\vec{\mathrm{h}}(n+1)$为第$n+1$时刻 FIR 滤波器系数矢量；$\vec{h}(n)$为第n时刻 FIR 滤波器系数矢量；Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；β为预设的学习率参数，且$0<\beta<2$；e(n)为误差信号，且$\mathrm{e(n)}=x_{ref}(n)-x_{est}(n)=x_{ref}(n)-\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)\cdot\vec{h}(n)$，$x_{ref}(n)$为参考信号，$x_{est}(n)$为估计信号，$\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)=[x_{2hpf}(n),x_{2hpf}(n-1),\ldots,x_{2hpf}(n-L+1)]^{T}$，T 为矢量的转置运算符，$x_{2hpf}(n)$为第二输出信号；δ为预设的小常数型正则化因子，且$\delta>0$；n 为样本时间索引。

11. 根据权利要求 1 所述的风噪声抑制方法，其中，所述根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱，包括：

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号语谱图和差信号语谱图；

分别获取所述和信号语谱图对应的和信号功率谱和所述差信号语谱图对应的差信号功率谱。

12. 根据权利要求 11 所述的风噪声抑制方法，其中，所述和信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_s}(k,t) = \gamma \cdot P_{y_s}(k,t-1) + (1-\gamma) \cdot |Y_s(k,t)|^2$，获取和信号功率谱；

其中，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0 < \gamma < 1$；$P_{y_s}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_s(k,t)$为和信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

13. 根据权利要求 11 所述的风噪声抑制方法，其中，所述差信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_d}(k,t) = \gamma \cdot P_{y_d}(k,t-1) + (1-\gamma) \cdot |Y_d(k,t)|^2$，获取差信号功率谱；

其中，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0 < \gamma < 1$；$P_{y_d}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_d(k,t)$为差信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

14. 根据权利要求 1 所述的风噪声抑制方法，其中，所述根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数，包括：

根据公式：$\mathrm{G}(k,t) = \psi\{\mathrm{R}(k,t)\}$，获取风噪声抑制增益函数；

其中，$\mathrm{G}(k,t)$为风噪声抑制增益函数；$\mathrm{R}(k,t) = \frac{P_{y_d}(k,t)}{P_{y_s}(k,t)+\varepsilon}$，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；

ε为预设的小常数型正则化因子，且$\varepsilon > 0$；$\psi\{\cdot\}$为单调递减函数；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

15. 一种风噪声抑制装置，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程序；其中，所述处理器执行所述程序时实现以下步骤：

分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图；

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱；

根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数；

利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计；

根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计。

16. 根据权利要求 15 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图的程序时实现以下步骤：

对所述第一语音信号和所述第二语音信号分别进行短时傅里叶变换 STFT 或者用分析滤波器组 AFB 进行子带变换，获取所述第一语音信号的第一语谱图和所述第二语音信号的第二语谱图。

17. 根据权利要求 15 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述程序时还实现以下步骤：

分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号。

18. 根据权利要求 17 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述分别对第一麦克风和第二麦克风进行校准，获取所述第一麦克风接收的第一语音信号和所述第二麦克风接收的第二语音信号的程序时实现以下步骤：

对第一麦克风的接收信号进行延时处理，得到第一语音信号；

对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

19. 根据权利要求 18 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述对第二麦克风的接收信号进行有限冲激响应 FIR 滤波处理，得到第二语音信号的程序时实现以下步骤：

获取 FIR 滤波器系数；

根据所述 FIR 滤波器系数，对所述第二麦克风的接收信号进行 FIR 滤波处理，得到第二语音信号。

20. 根据权利要求 19 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述获取 FIR 滤波器系数的程序时实现以下步骤：

将所述第一麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第一输出信号；

将所述第一输出信号进行延时处理，得到参考信号；

将所述第二麦克风的接收信号经过高通滤波处理得到第二输出信号；

对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号；

利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

21. 根据权利要求 20 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述对所述第二输出信号进行滤波处理，得到估计信号的程序时实现以下步骤：

利用 FIR 滤波器对所述第二输出信号进行滤波处理，获取估计信号。

22. 根据权利要求 20 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述利用所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新的程序时实现以下步骤：

根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量；

根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新。

23. 根据权利要求 22 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述根据所述第一输出信号和所述第二输出信号，获取语音活性检测 VAD 输出的软判决标志变量的程序时实现以下步骤：

根据公式：$\mathrm{Vad_Flag(n)} = \begin{cases} 1, & 若\ r_{x1x2}(n) \geq \mathrm{Th_1} \\ 0, & 若\ r_{x1x2}(n) < Th_2 \\ \frac{r_{x1x2}(n)-Th_2}{Th_1-Th_2}, & 若\ Th_2 \leq r_{x1x2}(n) < \mathrm{Th_1} \end{cases}$，获取 VAD 输出的软判决标志变量；

其中，Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；$r_{x1x2}(n)$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数系数，且 $r_{x1x2}(n) = \frac{|R_{x1x2}(n)|}{\sqrt{R_{x1x1}(n)\cdot R_{x2x2}(n)}}$，$\mathrm{R_{x1x2}(n) = \alpha \cdot R_{x1x2}(n-1) + (1-\alpha)\cdot x_{1hpf}(n)\cdot x_{2hpf}(n)}$，α为预定的平滑系数参数、且$0 < \alpha < 1$，$\mathrm{R_{x1x2}(n)}$为第一输出信号和第二输出信号的互相关函数；$R_{x1x1}(n)$为第一输出信号的自相关函数；$R_{x2x2}(n)$为第二输出信号的自相关函数；$\mathrm{x_{1hpf}(n)}$为第一输出信号，$\mathrm{x_{2hpf}(n)}$为第二输出信号，$R_{xixi}(n) = \alpha \cdot R_{xixi}(n-1) + (1-\alpha)\cdot x_{ihpf}(n)\cdot x_{ihpf}(n), i =$ 1 或 2；$\mathrm{Th_2}$和$\mathrm{Th_1}$为 VAD 预设的判决门限参数、且$0 \leq \mathrm{Th_2} < \mathrm{Th_1} < 1$；n 为样本时间索引。

24. 根据权利要求 22 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述根据所述软判决标志变量和所述参考信号与所述估计信号的差信号，对FIR滤波器系数进行自适应迭代更新的程序时实现以下步骤：

根据公式：$\vec{\mathrm{h}}(n+1) = \vec{h}(n) + \mathrm{Vad_Flag(n)}\cdot\beta\cdot \mathrm{e(n)}\cdot\frac{\vec{x}_{2hpf}(n)}{\vec{x}^T_{2hpf}(n)\cdot\vec{x}_{2hpf}(n)+\delta}$，对 FIR 滤波器系数进行自适应迭代更新；

其中，$\vec{\mathrm{h}}(n+1)$为第$n+1$时刻 FIR 滤波器系数矢量；$\vec{h}(n)$为第n时刻 FIR 滤波器系数矢量；Vad_Flag(n)为第 n 时刻 VAD 输出的软判决标志变量；β为预设的学习率参数，且$0 < \beta < 2$；e(n)为误差信号，且$\mathrm{e(n)} = x_{ref}(n) - x_{est}(n) = x_{ref}(n) - \vec{x}^T_{2hpf}(n)\cdot\vec{h}(n)$，$x_{ref}(n)$为参考信号，$x_{est}(n)$为估计信号，

$\vec{x}_{2hpf}^{T}(n)=[x_{2hpf}(n),x_{2hpf}(n-1),\ldots,x_{2hpf}(n-L+1)]^{T}$，T 为矢量的转置运算符，$x_{2hpf}(n)$为第二输出信号；δ为预设的小常数型正则化因子，且$\delta>0$；n 为样本时间索引。

25. 根据权利要求 15 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱的程序时实现以下步骤：

根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号语谱图和差信号语谱图；

分别获取所述和信号语谱图对应的和信号功率谱和所述差信号语谱图对应的差信号功率谱。

26. 根据权利要求 25 所述的风噪声抑制装置，其中，所述和信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_s}(k,t)=\gamma\cdot P_{y_s}(k,t-1)+(1-\gamma)\cdot|Y_s(k,t)|^2$，获取和信号功率谱；

其中，$P_{y_s}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的和信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0<\gamma<1$；$P_{y_s}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_s(k,t)$为和信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

27. 根据权利要求 25 所述的风噪声抑制装置，其中，所述差信号功率谱的获取方式为：

根据公式：$P_{y_d}(k,t)=\gamma\cdot P_{y_d}(k,t-1)+(1-\gamma)\cdot|Y_d(k,t)|^2$，获取差信号功率谱；

其中，$P_{y_d}(k,t)$为第 t 帧第 k 个子带的差信号功率谱；γ为预设的平滑系数参数、且$0<\gamma<1$；$P_{y_d}(k,t-1)$为第 t-1 帧第 k 个子带的和信号功率谱；$Y_d(k,t)$为差信号语谱图；t 为信号帧的时间索引，k 为子带索引。

28. 根据权利要求 15 所述的风噪声抑制装置，其中，所述处理器执行所述根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数的

程序时实现以下步骤：

根据公式：$G(k,t)=\psi\{R(k,t)\}$，获取风噪声抑制增益函数；

其中，$G(k,t)$为风噪声抑制增益函数；$R(k,t)=\frac{P_{y_d}(k,t)}{P_{y_s}(k,t)+\varepsilon}$，$P_{y_d}(k,t)$为第t帧第k个子带的差信号功率谱，$P_{y_s}(k,t)$为第t帧第k个子带的和信号功率谱；$\varepsilon$为预设的小常数型正则化因子，且$\varepsilon>0$；$\psi\{\cdot\}$为单调递减函数；t为信号帧的时间索引，k为子带索引。

29．一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实现如权利要求1至14任一项所述的风噪声抑制方法中的步骤。

30．一种风噪声抑制装置，包括：

第一获取模块，用于分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图；

第二获取模块，用于根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱；

第三获取模块，用于根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数；

第四获取模块，用于利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计；

第五获取模块，用于根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计。

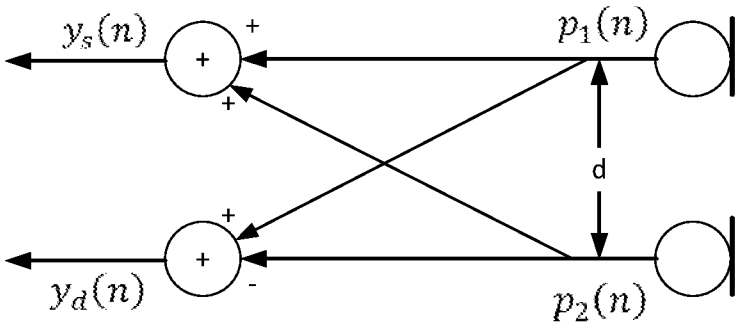


图 1

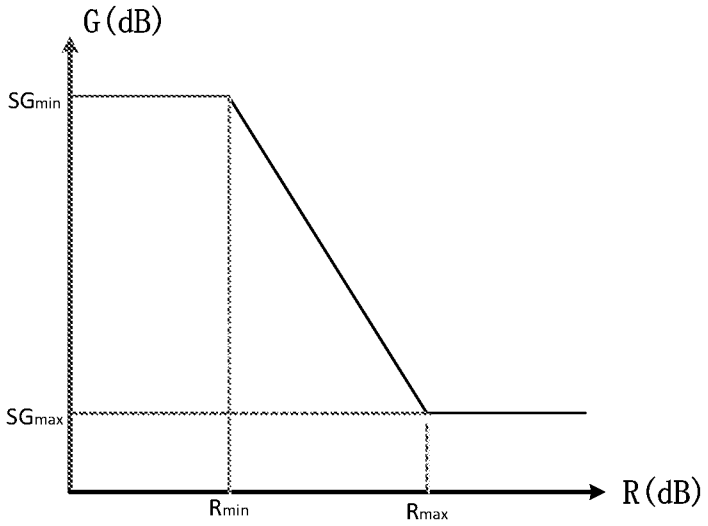


图 2

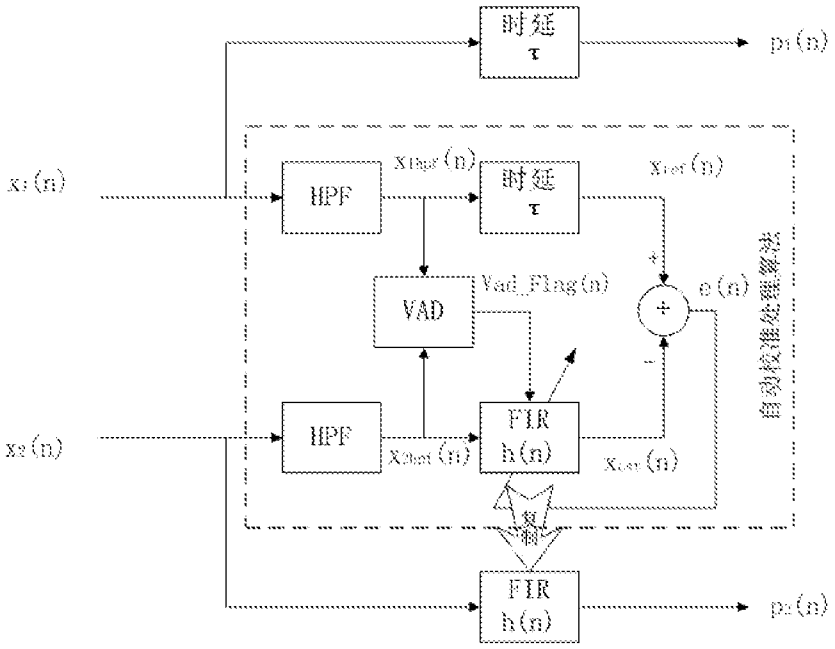

时延
τ
p1(n)
x1(n)
HPF
x1hpf(n)
时延
τ
x1del(n)
VAD
Vad_Flag(n)
e(n)
x2(n)
HPF
x2hpf(n)
FIR
h(n)
x1del(n)
复制
FIR
h(n)
p2(n)
自动校准处理算法

图 3

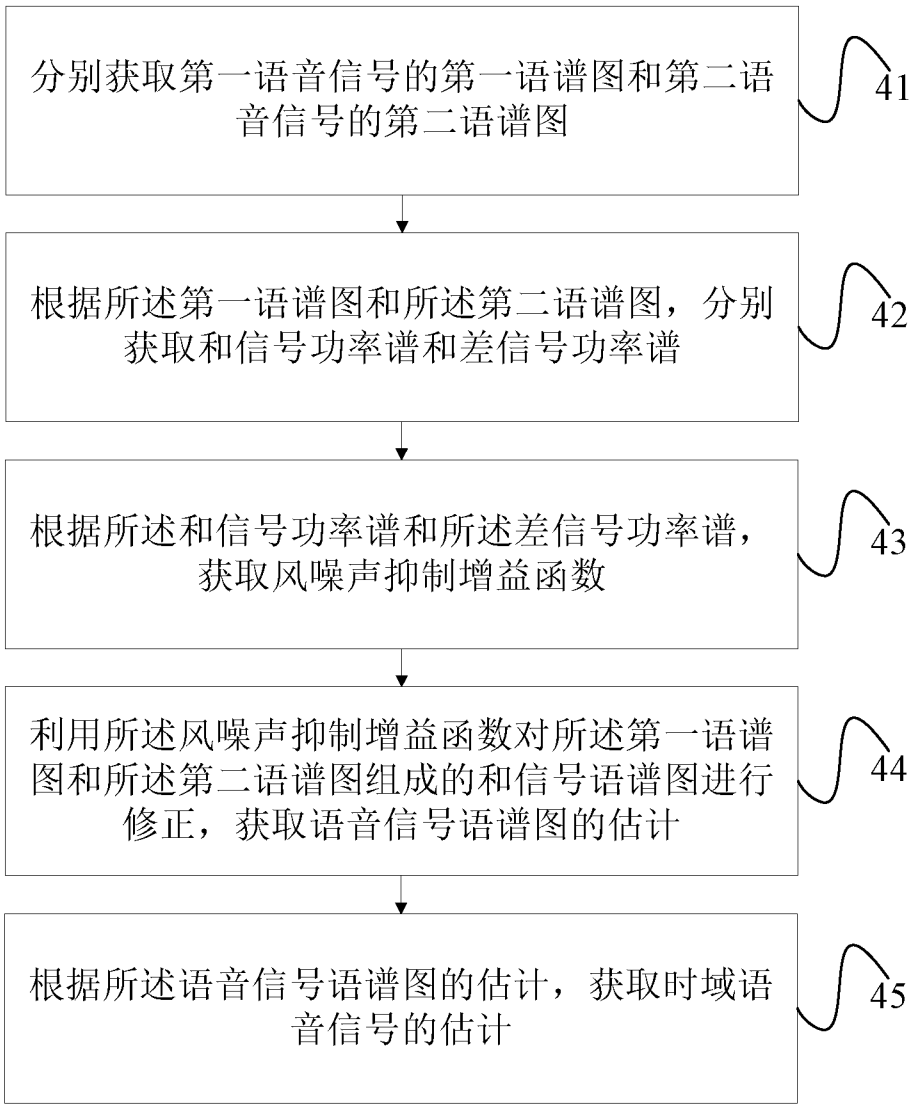

分别获取第一语音信号的第一语谱图和第二语音信号的第二语谱图
41
根据所述第一语谱图和所述第二语谱图，分别获取和信号功率谱和差信号功率谱
42
根据所述和信号功率谱和所述差信号功率谱，获取风噪声抑制增益函数
43
利用所述风噪声抑制增益函数对所述第一语谱图和所述第二语谱图组成的和信号语谱图进行修正，获取语音信号语谱图的估计
44
根据所述语音信号语谱图的估计，获取时域语音信号的估计
45

图 4

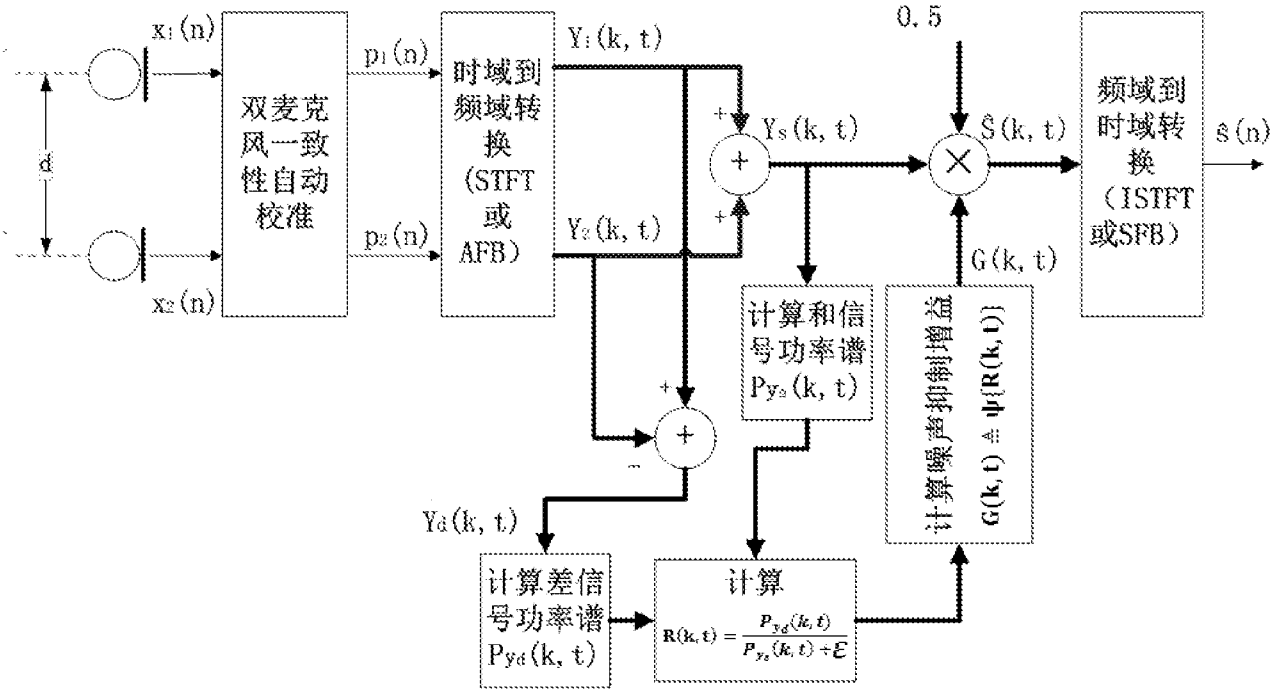

x1(n)
x2(n)
d
双麦克风一致性自动校准
p1(n)
p2(n)
时域到频域转换(STFT或AFB)
Y1(k, t)
Y2(k, t)
Ys(k, t)
Yd(k, t)
0.5
S(k, t)
G(k, t)
频域到时域转换(ISTFT或SFB)
ŝ(n)
计算和信号功率谱 Pys(k, t)
计算噪声抑制增益 G(k, t) ≜ ψ{R(k, t)}
计算差信号功率谱 Pyd(k, t)
计算
R(k,t) = Pyd(k,t) / (Pys(k,t) + ε)

图 5

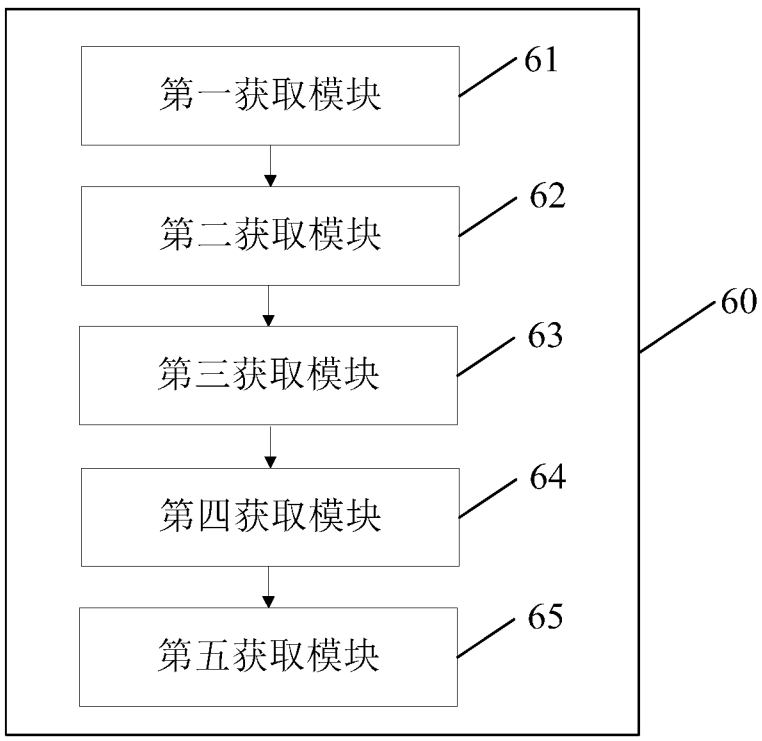

第一获取模块
61
第二获取模块
62
第三获取模块
63
第四获取模块
64
第五获取模块
65
60

图 6

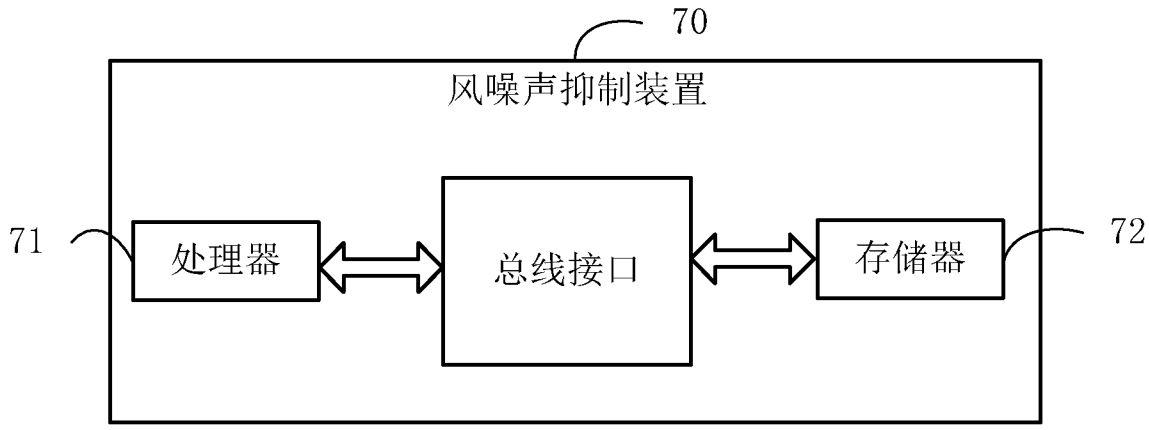


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2020/075196

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04R 1/10(2006.01)i; H04R 3/00(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)

H04R

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)

CNKI, CNPAT, EPODOC, WPI: 风噪声, 传声器, 麦克风, 语音, 声音, 功率, 和, 差, 抑制, 傅里叶变换, 短时傅里叶变换, wind noise, microphone, mic, voice, sound, power, sum, difference, minus, restrain, Fourier transform, FFT, STFT

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109905793 A (TELECOMMUNICATIONS SCIENCE AND TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 18 June 2019 (2019-06-18) claims 1-30	1-30
X	US 2003147538 A1 (MH ACOUSTICS, LLC.) 07 August 2003 (2003-08-07) description, columns 1-20, and figures 1-13	1-30
A	CN 106875938 A (NANJING UNIVERSITY OF INFORMATION SCIENCE & TECHNOLOGY) 20 June 2017 (2017-06-20) entire document	1-30
A	US 2018132036 A1 (BOSE CORPORATION) 10 May 2018 (2018-05-10) entire document	1-30
A	US 2014079245 A1 (ROHM CO., LTD.) 20 March 2014 (2014-03-20) entire document	1-30

☐ 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	Date of mailing of the international search report
08 April 2020	**13 May 2020**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088** **China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2020/075196

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109905793	A	18 June 2019	None			
US	2003147538	A1	07 August 2003	EP	1488661	A2	22 December 2004
				WO	03067922	A2	14 August 2003
				AU	2003217328	A1	02 September 2003
				EP	2848007	A1	18 March 2015
				US	2015213811	A1	30 July 2015
				WO	2014062152	A1	24 April 2014
CN	106875938	A	20 June 2017	None			
US	2018132036	A1	10 May 2018	JP	2019534658	A	28 November 2019
				CN	110100453	A	06 August 2019
				EP	3539301	A1	18 September 2019
				WO	2018089552	A1	17 May 2018
US	2014079245	A1	20 March 2014	JP	2014060523	A	03 April 2014

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2020/075196

A. 主题的分类

H04R 1/10(2006.01)i; H04R 3/00(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)

H04R

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））

CNKI, CNPAT, EPODOC, WPI: 风噪声，传声器，麦克风，语音，声音，功率，和，差，抑制，傅里叶变换， 短时傅里叶变换，wind noise, microphone, mic, voice, sound, power, sum, difference, minus, restrain, Fourier transform, FFT, STFT

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 109905793 A (电信科学技术研究院有限公司) 2019年 6月 18日 (2019-06-18) 权利要求1-30	1-30
X	US 2003147538 A1 (MH ACOUSTICS, LLC) 2003年 8月 7日 (2003-08-07) 说明书第1-20栏和图1-13	1-30
A	CN 106875938 A (南京信息工程大学) 2017年 6月 20日 (2017-06-20) 全文	1-30
A	US 2018132036 A1 (BOSE CORPORATION) 2018年 5月 10日 (2018-05-10) 全文	1-30
A	US 2014079245 A1 (ROHM CO., LTD.) 2014年 3月 20日 (2014-03-20) 全文	1-30

☐ 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	国际检索报告邮寄日期
2020年 4月 8日	2020年 5月 13日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	潘小丹
传真号 (86-10)62019451	电话号码 86-(10)-53961796

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2020/075196

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	109905793	A	2019年 6月 18日	无			
US	2003147538	A1	2003年 8月 7日	EP	1488661	A2	2004年 12月 22日
				WO	03067922	A2	2003年 8月 14日
				AU	2003217328	A1	2003年 9月 2日
				EP	2848007	A1	2015年 3月 18日
				US	2015213811	A1	2015年 7月 30日
				WO	2014062152	A1	2014年 4月 24日
CN	106875938	A	2017年 6月 20日	无			
US	2018132036	A1	2018年 5月 10日	JP	2019534658	A	2019年 11月 28日
				CN	110100453	A	2019年 8月 6日
				EP	3539301	A1	2019年 9月 18日
				WO	2018089552	A1	2018年 5月 17日
US	2014079245	A1	2014年 3月 20日	JP	2014060523	A	2014年 4月 3日