

◇ 研究报告 ◇

一种基于虚拟传感的无需误差传声器的自适应有源降噪方法*

李楠^{1,2} 杨飞然² 杨军^{1,2†}

(1 中国科学院大学 北京 100049)

(2 中国科学院噪声与振动重点实验室(声学研究所) 北京 100190)

摘要 该文基于虚拟传感技术引入了一种用于耳机的无需误差传声器的自适应有源降噪方法。该算法仅使用一个参考传声器实现了一种前馈和反馈自适应算法结合的有源降噪算法,提高了有源降噪稳定性,简化了耳机硬件结构。利用 DSP 平台实现了该文提出的方案,并通过实验验证了其良好的降噪性能和实用价值。

关键词 自适应有源降噪算法,虚拟传感技术,滤波-x 最小均方算法,内部模型控制

中图分类号: TN871

文献标识码: A

文章编号: 1000-310X(2019)01-0085-08

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2019.01.012

An adaptive active noise method without an error microphone based on virtual microphone technique

LI Nan^{1,2} YANG Feiran² YANG Jun^{1,2}

(1 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(2 Key Laboratory of Noise and Vibration Research, Institute of Acoustic, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract This paper presents an adaptive active noise control (ANC) method without an error microphone based on virtual microphone technique. The method implements two adaptive algorithms using only one reference microphone and serves better ANC stability and simpler headphone structure. The purposed ANC system is implemented in a DSP platform. Experiments show that the system achieves an improved performance and has high practical value.

Key words Adaptive active noise control algorithm, Virtual microphone technique, Filtered-x least mean square, Internal model control

2018-04-16 收稿; 2018-09-04 定稿

*国家自然科学基金项目 (61501449)

作者简介: 李楠 (1993-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 研究方向: 声信号处理。

† 通讯作者 E-mail: jyang@mail.ioa.ac.cn

0 引言

有源噪声控制 (Active noise control, ANC) 是一种利用次级声源产生与噪声幅度相同而相位相反的声波以抵消噪声的技术^[1]。有源噪声控制相比于被动降噪方法对低频噪声有着更好的控制效果, 因而有源降噪技术在耳机、汽车和管道降噪中获得广泛的应用。

有源降噪耳机的控制模式可分为固定滤波器和自适应滤波器两种。受电子学发展限制, 早年的有源噪声控制全部基于模拟电子技术^[2]。由于模拟电路具有灵活性低的缺陷, 只能采用固定滤波器的控制模式。自1980年以来, 随着高性能数字芯片的发展, 基于自适应滤波器的有源噪声控制方案的应用成为可能^[3]。传统自适应有源降噪耳机结构中一般包含一个误差传声器用于接收人耳处噪声。实际应用中, 依赖误差传声器的自适应有源降噪算法通常存在由于次级通道变化引入的稳定性不足问题。基于前馈控制的滤波x最小均方 (Filtered-x least mean square, FxLMS) 算法^[4]和基于反馈控制的内部模型控制 (Internal model control, IMC)^[1]作为应用最为广泛的两种控制方案, 其稳定性条件是次级通道模型与真实次级通道的相位差小于 90° ^[1], 否则可能产生由算法发散引起的啸叫现象。在有源降噪耳机中, 耳机次级通道可能产生较大改变, 此时若引起啸叫, 会使佩戴者产生不适。为解决这一问题, 文献[5]研究了基于不确定次级通道的有源降噪方案, 但该方法通常会损失降噪量。另一种方法是利用在线辨识对次级通道进行跟踪^[6], 但该方法会引入宽带噪声, 且对次级通道的突变变动反应较差。文献[7]提出的方法避免了以上方法的问题, 但需要依赖对稳定性限制条件的精准检测。另一方面, 误差传声器接收外界噪声的同时也会接收耳机播放的声频信号, 这会引入ANC对声频频响的损伤, 从而带来额外的声质损伤。除此之外, 误差传声器的存在使得耳机结构更加复杂, 在许多体积较小的入耳式耳机中, 需要为布放误差传声器做特殊设计。

为探索更优方案, 可使用虚拟传感技术 (Virtual microphone technique, VMT)。虚拟传感技术最早由Elliott等^[8]提出, 被广泛运用于有源头靠等不易在听声位置布放传声器的应用场景中。经过多年的发展, 多种方法的虚拟传感方法被提出来^[9]。

文献[10–11]中的方案均以误差传声器为物理传声器对人耳处噪声进行降噪, 此类方案依然需要依赖误差传声器, 难以解决算法稳定性差、频响损伤和耳机结构复杂等问题。以上虚拟传感方法虽然取消了人耳处的误差传声器, 但在参考传声器之外依然需要一个物理传声器来构造虚拟误差信号, 由于闭环反馈路径存在, 因此依然需要控制算法的发散问题。文献[12]仅使用一个参考传声器实现了一种无误差传感的前馈自适应有源降噪耳机, 该方法取消了物理传声器, 但在构造误差信号时未考虑次级通道影响, 使得拟合的误差信号与真实的误差信号产生偏差, 会对降噪效果造成一定损失。另外, 该方法未能实现反馈自适应算法的有源噪声控制。

针对以上问题, 本文引入了一种虚拟无误差传感的自适应有源降噪耳机方案。该方案以参考传声器信号来估计人耳处噪声信号, 实现了前馈控制FxLMS算法与反馈IMC算法相结合的自适应有源降噪耳机系统。将该方案在DSP平台进行了实现, 通过实验验证了其良好的降噪效果。将该方案在次级通道发生变化时的稳定性与传统自适应方案进行了对比, 验证了其良好的稳定性。通过测量两种ANC模式工作时的声频信号频响曲线, 并与耳机原始频响对比, 验证了虚拟传感自适应ANC方案具有更小的频响损伤。

1 无需误差传声器的自适应有源降噪耳机原理

传统前馈FxLMS算法和反馈IMC算法在文献[1]中有较为详细的介绍。两种控制方案均需要依赖一个误差传声器。本文利用虚拟传感技术将误差传声器省略。由于人耳处噪声信号是期望信号与滤波输出信号经次级通道传播后的信号二者的叠加, 可使用人工头中的误差传声器提前测量出初级通道和次级通道传递函数, 再根据参考传声器信号与滤波器输出信号实时估计人耳处噪声信号。在自适应滤波器进行迭代更新时, 利用估计的误差信号最小化为目标, 从而起到降低人耳处噪声的效果。下面对基于传统前馈FxLMS算法和反馈IMC算法的虚拟传感自适应算法原理分别进行介绍。

1.1 基于前馈 FxLMS 的虚拟传感自适应算法

基于前馈 FxLMS 的虚拟传感自适应算法框图如图1所示, 其中 $x(n)$ 、 $d(n)$ 、 $e(n)$ 和 $y_1(n)$ 分别为参考信号、人耳处外部噪声信号(期望信号)、人耳处残留噪声信号(误差信号)和滤波器输出信号, $P(z)$ 、 $S(z)$ 和 $W_1(z)$ 分别为耳机的初级通道传递函数、次级通道传递函数和自适应 FIR 滤波器传递函数, $\hat{P}(z)$ 和 $\hat{S}(z)$ 分别为建模的初级通道和次级通道传递函数, 二者均采用离线自适应系统辨识方法得到, $x'(n)$ 和 $y'_1(n)$ 分别为 $x(n)$ 和 $y_1(n)$ 经 $\hat{S}(z)$ 滤波后的信号, $d'(n)$ 和 $y''_1(n)$ 分别为 $x(n)$ 和 $y_1(n)$ 经 $\hat{P}(z)$ 和 $\hat{S}(z)$ 滤波后的信号, $e'(n)$ 为构造的人耳处残留噪声信号。

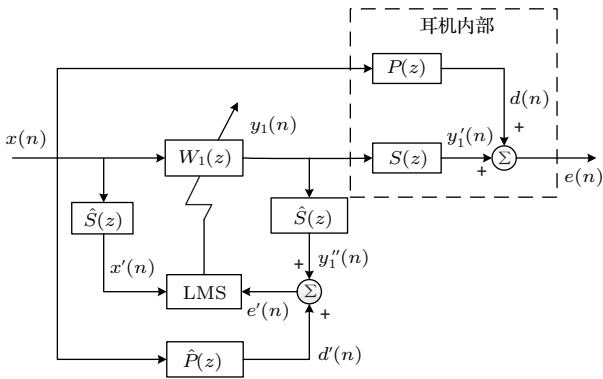


图1 基于前馈 FxLMS 的虚拟传感自适应算法原理框图
Fig. 1 Block diagram of feedforward FxLMS based virtual microphone adaptive algorithm

从图1中可以看出, 人耳处真实的残留噪声信号可表示为

$$\begin{aligned} e(n) &= d(n) + y'_1(n) \\ &= \mathbf{p}^T(n)\mathbf{x}(n) + \mathbf{s}^T(n)\mathbf{y}_1(n), \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $\mathbf{p}(n) = [p_0(n) \ p_1(n) \ \dots \ p_{M-1}(n)]^T$ 为 n 时刻 M 长初级通道传递函数 $P(z)$ 滤波权向量, $\mathbf{x}(n) = [x_0(n) \ x_1(n) \ \dots \ x_{M-1}(n)]^T$ 为 n 时刻 M 长参考信号向量, $\mathbf{s}(n) = [s_0(n) \ s_1(n) \ \dots \ s_{M-1}(n)]^T$ 为 n 时刻 M 长次级通道传递函数 $S(z)$ 滤波权向量, $\mathbf{y}_1(n) = [y_{1,0}(n) \ y_{1,1}(n) \ \dots \ y_{1,M-1}(n)]^T$ 为 n 时刻 M 长滤波输出信号向量。而构造的人耳处残留噪声信号可表示为

$$\begin{aligned} e'(n) &= d'(n) + y''_1(n) \\ &= \hat{\mathbf{p}}^T(n)\mathbf{x}(n) + \hat{\mathbf{s}}^T(n)\mathbf{y}_1(n), \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $\hat{\mathbf{p}}(n) = [\hat{p}_0(n) \ \hat{p}_1(n) \ \dots \ \hat{p}_{M-1}(n)]^T$ 为 n 时刻 M 长建模的初级通道传递函数 $\hat{P}(z)$ 滤波权向量, $\hat{\mathbf{s}}(n) = [\hat{s}_0(n) \ \hat{s}_1(n) \ \dots \ \hat{s}_{M-1}(n)]^T$ 为 n 时刻 M 长次级通道传递函数 $\hat{S}(z)$ 滤波权向量。

由于算法工作时人耳处不存在物理误差传声器, 自适应算法收敛的最小化目标实际上是以构造的人耳处残留噪声信号的均方值, 即

$$J(n) = E[e'^2(n)]. \quad (3)$$

由梯度下降法可得自适应滤波器 $W_1(z)$ 在 n 时刻的 M 长 FIR 滤波权向量 $\mathbf{w}_1(n) = [w_{1,0}(n) \ w_{1,1}(n) \ \dots \ w_{1,M-1}(n)]^T$ 的更新方程为

$$\mathbf{w}_1(n+1) = \mathbf{w}_1(n) - \mu \mathbf{x}'(n)e'(n), \quad (4)$$

其中, $\mathbf{x}'(n) = [x'_0(n) \ x'_1(n) \ \dots \ x'_{M-1}(n)]^T$ 为 n 时刻 M 长参考信号经建模的次级通道 $\hat{S}(z)$ 的滤波输出向量。

由以上推导可得, 当建模的初级通道和次级通道传递函数与真实的初级通道和次级通道传递函数足够接近时, 即满足

$$\hat{P}(z) \approx P(z), \quad (5)$$

$$\hat{S}(z) \approx S(z) \quad (6)$$

时, 构造的残留噪声信号与人耳处残留噪声信号大致相等, 即

$$e'(n) \approx e(n). \quad (7)$$

因此, FxLMS 算法收敛使得 $J(n)$ 最小化时, 也将人耳处噪声降低。

1.2 基于反馈 IMC 的虚拟传感自适应算法

采用与第1.1节中类似的思路, 可以使用一个参考传声器结合建模的传递函数估计人耳处残留噪声信号, 从而可以仅依赖一个参考传声器和一个次级声源实现一种与反馈 IMC 等效的自适应算法。该算法的原理框图如图2所示, 其中 $W_2(z)$ 为自适应 FIR 滤波器传递函数, $y_2(n)$ 为滤波器输出信号, $y'_2(n)$ 和 $y''_2(n)$ 分别为 $y_2(n)$ 经过真实次级通道 $S(z)$ 和建模的次级通道 $\hat{S}(z)$ 滤波后的输出信号, $d''(n)$ 为 $d'(n)$ 经建模的次级通道滤波后的输出信号。

采用与第1.1节类似的思路, 可以利用 $x(n)$ 和 $y_2(n)$ 以及建模的传递函数 $\hat{P}(z)$ 和 $\hat{S}(z)$ 构造人耳处噪声信号。同样使用公式(3)作为代价函数, 可得自适应滤波器 $W_2(z)$ 在 n 时刻的 M 长 FIR 滤波权

向量 $\mathbf{w}_2(n) = [w_{2,0}(n) \ w_{2,1}(n) \ \dots \ w_{2,M-1}(n)]^T$ 的更新方程为

$$\mathbf{w}_2(n+1) = \mathbf{w}_2(n) - \mu \mathbf{d}''(n) e'(n), \quad (8)$$

其中, $\mathbf{d}''(n) = [d_0''(n) \ d_1''(n) \ \dots \ d_{M-1}''(n)]^T$ 为 n 时刻 M 长构造期望信号经建模的次级通道 $\hat{S}(z)$ 的滤波输出向量。

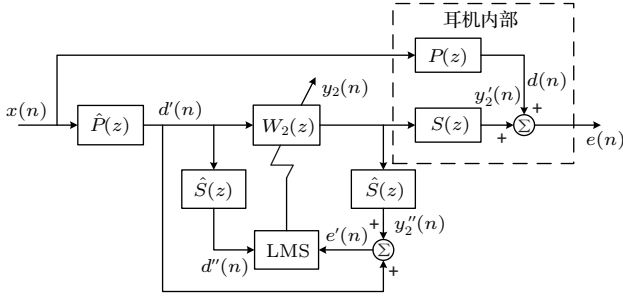


图2 基于反馈IMC的虚拟传感自适应算法原理框图

Fig. 2 Block diagram of feedback IMC based virtual microphone adaptive algorithm

可以看出,当初级通道和次级通道模型满足公式(5)和公式(6)时,构造的人耳处残留噪声满足公式(7),算法收敛时会对人耳处噪声起到降噪作用。

以上算法通过参考传声器构造与反馈算法等效的滤波输入信号和误差信号,实际上是通过参考传声器替换了误差传声器。与传统的反馈算法相比,其优势在于取消了闭环反馈路径,从而避免了算法发散带来的啸叫现象。另外,由于参考传声器不会接收耳机播放的声频信号,因而不会将其与噪声信号混淆,带来不必要的声频信号频响损伤。

1.3 两种自适应算法结合的有源降噪耳机方案

以上提出的基于前馈结构的算法和基于反馈结构的算法可以单独工作,若将两种方法相结合可进一步提高性能。图3为第1.1节和第1.2节中介绍的两种虚拟传感算法相结合的自适应有源降噪耳机方案。其中, $y(n)$ 为 $y_1(n)$ 和 $y_2(n)$ 两个滤波输出信号叠加得到的信号。由于两种算法使用相同的算法构造误差信号,因此利用 $x(n)$ 和 $y(n)$ 结合建模的传递函数 $\hat{P}(z)$ 和 $\hat{S}(z)$ 构造人耳处噪声信号。表1对最终算法的计算过程进行了总结。同样,当建模的传递函数满足公式(5)和公式(6)时,构造的人耳处噪声满足公式(7)。两种自适应算法结合的控制方式可以得到较好的降噪效果。

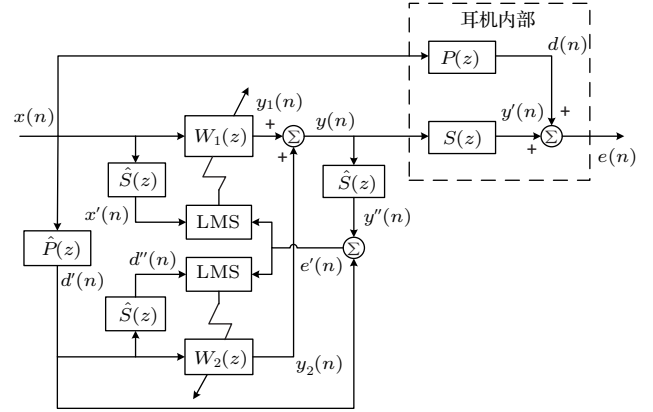


图3 前馈FxLMS和反馈IMC混合控制虚拟传感自适应算法原理框图

Fig. 3 Block diagram of Feedforward FxLMS and feedback IMC hybrid control virtual microphone adaptive algorithm

表1 前馈FxLMS和反馈IMC混合控制虚拟传感自适应算法总结

Table 1 Summary of Feedforward FxLMS and feedback IMC hybrid control virtual microphone adaptive algorithm

算法阶段	公式
生成滤波输入信号	$d'(n) = \hat{\mathbf{p}}^T(n) \mathbf{x}(n)$
生成滤波输出信号	$y_1(n) = \mathbf{w}_1^T(n) \mathbf{x}(n)$ $y_2(n) = \mathbf{w}_2^T(n) \mathbf{d}'(n)$ $y(n) = y_1(n) + y_2(n)$
构造虚拟误差信号	$y''(n) = \hat{\mathbf{s}}^T(n) \mathbf{y}(n)$ $e'(n) = y''(n) + d'(n)$
更新权重滤波向量	$\mathbf{x}'(n) = \hat{\mathbf{s}}^T(n) \mathbf{x}(n)$ $\mathbf{d}''(n) = \hat{\mathbf{s}}^T(n) \mathbf{d}'(n)$ $\mathbf{w}_1(n+1) = \mathbf{w}_1(n) - \mu \mathbf{x}'(n) e'(n)$ $\mathbf{w}_2(n+1) = \mathbf{w}_2(n) - \mu \mathbf{d}''(n) e'(n)$

进一步说明本文所提方法在实现虚拟误差传感时采用的具体方法。从表1中可以看出,与传统的混合控制自适应算法相比,虚拟传感自适应有源降噪方法主要在算法中增加了构造虚拟误差信号的步骤。构造虚拟误差信号所依赖的信息为参考信号、滤波输出信号、初级通道传递函数和主通道传递函数。其中,参考信号由参考传声器采集获得,滤波输出信号由算法计算得出,均为已知的可靠信息,初级通道和次级通道传递函数需要提前通过传递函数建模获得,存在一定的不稳定因素。当建模的传递函数与真实的传递函数足够接近时,算法构造的虚拟误差信号与人耳处真实的误差信号足够

接近,从而实现了虚拟无误差传感的有源降噪耳机系统。

在实际应用中,噪声信号的消除存在极限抵消量。该降噪极限主要由以下原因造成:首先,所用算法基于数字电子技术系统,采样和量化处理均会使得所得到的声信号与真实声波有所偏差;另外,所需抵消的噪声信号为耳机固体传播的声信号和由佩戴者人头骨骼传导的噪声,这两项传导噪声都存在参数分布、多径传导和复杂时空特性等问题,此时使用提前辨识的系统函数必然会造成算法所采用的声信号与真实声波的偏差。因此,即使认为建模的传递函数与真实传递函数足够接近,本算法在降噪过程中依然存在极限抵消量。

2 实验与分析

将第1.3节中的自适应有源降噪耳机系统在DSP平台进行了实现。选用的芯片型号为TI公司的TMS320C6747,使用的耳机为普通的有源降噪耳机,系统采样频率为16 kHz,两个自适应滤波器及初级通道和次级通道传递函数FIR模型均为500阶。实验测试环境为普通房间,大小约为12 m²,有简单的消声装修处理,混响时间约为300 ms。

正如第1节所提到的,虚拟传感自适应ANC方案降噪性能与传统方案相同的条件是初级通道和次级通道传递函数模型与真实的传递函数相同。然而由于耳机不同的佩戴方式会引起一定的传递函数变化,有必要研究当耳机传递函数与模型失配情况下该方案的降噪效果。所谓失配状态,即建模的

系统函数与真实的系统函数发生偏差的状态,本实验所选择的失配状态为改变耳机的佩戴松紧程度和噪声传播方向条件下的状态。首先在粉噪环境下测试传统方案在次级通道传递函数稳定和两种失配状态时的降噪效果对比,实验结果如图4所示。该实验结果表明,由于误差传声器的存在,滤波器可通过自适应算法将真实的目标控制点处噪声均方值最小化,所以稳定和失配情况下的降噪效果并无太大差别。

图5为粉噪环境下系统传递函数稳定状态和两种失配状态下所提方案的降噪效果。可以看出两种失配状态下,算法损失一定的低频降噪量,但500 Hz~1500 Hz频段部分的降噪效果反而得到提升,这说明传递函数的失配不一定会带来各个频段降噪效果的全面下降。另一方面,在头戴式或入耳式耳机的使用中,耳机和人头或人耳贴合较为紧密,耳机传递函数一般较为稳定,特别是经过良好人体工学设计的耳机结构,佩戴者在日常佩戴时通常不会发生传递函数的剧烈变化,因而能保证所提方案的良好效果。

为测试耳机系统降噪效果,将其佩戴在人工头上,使用HiVi H5有源扬声器系统播放噪声源,使用PULSE声学测试仪分别拾取有源降噪功能打开和关断状态下的人工耳噪声信号并进行对比。选取粉噪声混合线谱的噪声作为测试降噪性能的环境噪声,对比了第1.3节中虚拟传感自适应ANC方案与传统FxLMS算法和反馈IMC结合的混合控制ANC方案的降噪效果,实验结果如图6所示。从图6中可以看出,虚拟传感自适应ANC方案可以在

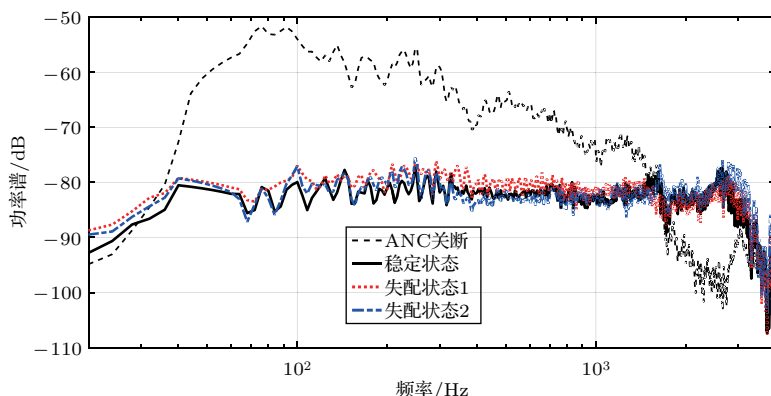


图4 耳机系统稳定状态与两种失配状态下传统方案在粉噪环境下的降噪效果

Fig. 4 Noise reduction effect of conventional method in stable state and mismatch state in pink noise environment

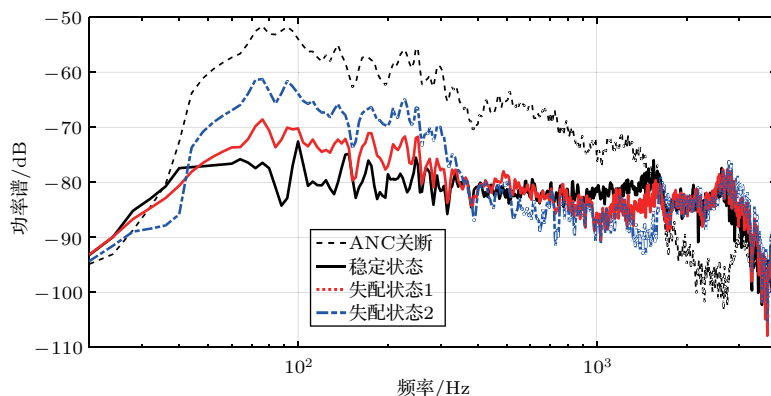


图5 耳机系统稳定状态与两种失配状态下虚拟传感方案在粉噪环境下的降噪效果

Fig. 5 Noise reduction effect of virtual microphone method in stable state and mismatch state in pink noise environment

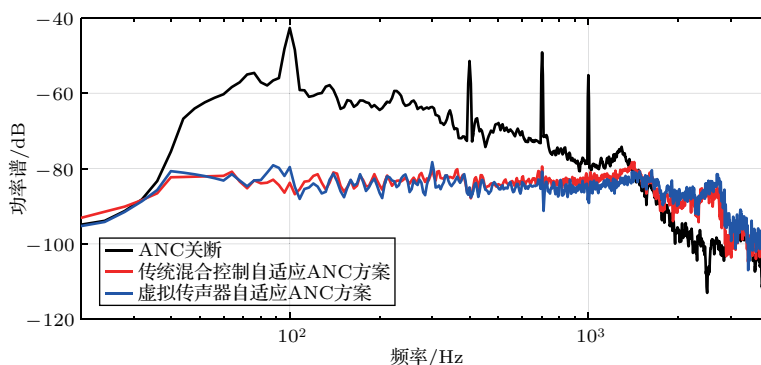


图6 粉噪混合线谱噪声环境下两种 ANC 方案的降噪效果

Fig. 6 Noise reduce effect of two ANC systems in pink noise hybrid single frequency noise environment

不依赖误差传声器的条件下得到与传统混合控制自适应ANC方案相似的降噪效果,对线谱噪声有明显的抑制作用,对宽带噪声的低频部分也可达到20 dB左右的降噪效果。

为测试虚拟传感自适应ANC方案相对与传统混合控制自适应ANC方案在次级通道收到扰动时稳定性的提升,在100 Hz单频噪声环境下分别对两种控制模式的耳机施加一个松动佩戴扰动,如图7所示。该扰动在人们摘戴耳机和调整佩戴方式时频繁发生。记录人工耳接收到的噪声在ANC关断、ANC开启、算法收敛和扰动发生时的时域信息,结果如图8所示。可以看出,在扰动发生时,传统方案出现了由发散引起的啸叫现象,而虚拟传感方案仅出现降噪量的损失。

为测试虚拟传感自适应ANC算法相比于传统混合控制自适应ANC算法对耳机声质的影响,使用PULSE声学测试仪分别对两种控制模式下的耳机频响进行了测量,并和耳机原始频响进行对比,测

试结果如图9所示。可以看出,由于传统方案中的误差传声器拾取了耳机播放的声频信号,自适应ANC对该声频信号造成了损伤,使得耳机频响与原始频响之间发生了较大差异,变得过于平直,这会影响佩戴者的听声体验。而虚拟传感方案中不存在误差传声器,未对耳机频响造成损伤。

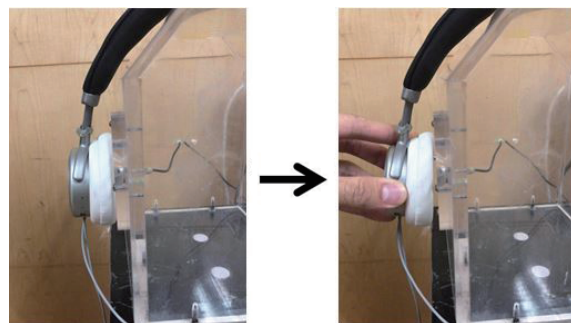


图7 耳机由正常佩戴到施加松动佩戴扰动实物图

Fig. 7 Headphone arrangement from normal state turns to leaky disturbance state

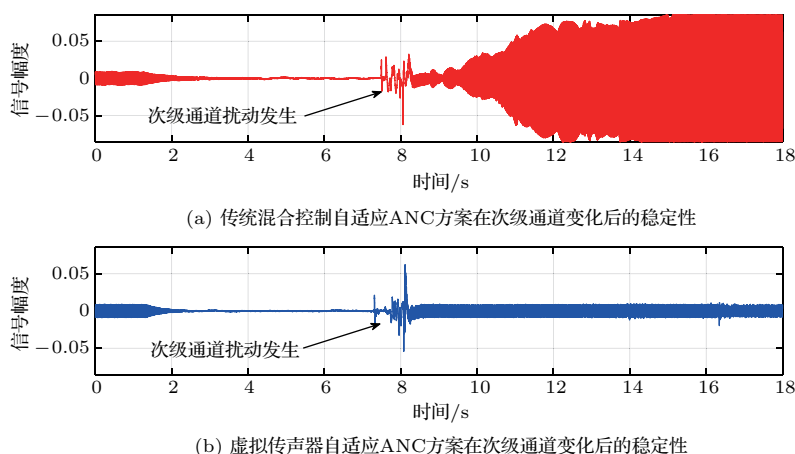


图8 次级通道扰动发生时两种ANC方案的算法稳定性

Fig. 8 The robust of two ANC systems when secondary path disturbance occurs

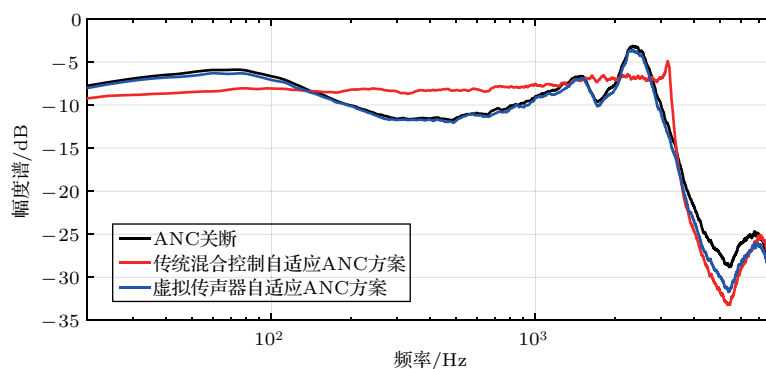


图9 ANC关断和两种ANC方案工作三种不同状态下耳机声频信号频响曲线

Fig. 9 Headphone audio signal frequency response curves in three different states

3 结论

本文简单介绍了传统自适应有源降噪耳机,指出了传统方案中由于误差传声器带来的算法稳定性差、声频信号频响损伤和耳机结构复杂等问题。为解决这一系列问题,本文使用虚拟传感技术,引入了基于前馈FxLMS和反馈IMC混合控制的无需误差传声器自适应有源降噪耳机方法,在DSP平台实现了上述有源降噪耳机系统和依赖误差传声器的传统混合控制自适应有源降噪耳机系统,并对比了二者的降噪性能、稳定性和声频信号频响。实验证明,所提虚拟传感自适应ANC方案在实现良好降噪效果的同时具有更优的稳定性和更少的频响损伤。

参考文献

- [1] Elliott S J. Signal processing for active noise control[M]. London: Academic Press, 2000.
- [2] Miljkovic D. Active noise control: from analog to digital—Last 80 years[C]. 2016 39th International Con-

tion on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), IEEE, 2016: 1151–1156.

- [3] Kuo S M, Morgan D R. Active noise control: a tutorial review[J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(6): 943–973.
- [4] Burgess J C. Active adaptive sound control in a duct: a computer simulation[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 1981, 70(3): 715–726.
- [5] Rafaely B, Elliott S J. A computationally efficient frequency-domain LMS algorithm with constraints on the adaptive filter[J]. IEEE Transaction on Signal Processing 2000, 48(6): 1649–1655.
- [6] Zhang M, Lan H, Ser W. A robust online secondary path modeling method with auxiliary noise power scheduling strategy and norm constraint manipulation[J]. IEEE Transaction on Speech and Audio Processing, 2003, 11(1): 45–53.
- [7] Guldenschuh M, Callafon R D. Detection of secondary-path irregularities in active noise control headphones[J]. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, Language Processing, 2014, 22(7): 1148–1157.
- [8] Elliott S J, David A. A virtual microphone arrangement for local active sound control[C]. In Proceedings of the 1st International Conference on Motion and Vibration Con-

- trol, Yokohama, 1992: 1027-1031.
- [9] Moreau D, Cazzolato B, Zander A, et al. A review of virtual sensing algorithms for active noise control[J]. *Algorithms*, 2008, 1(2): 69-99.
- [10] Miyazaki N, Kajikawa Y. Adaptive feedback ANC system using virtual microphones[C]. *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1988. ICASSP-88., 1988 International Conference on (Acoust Speech Signal Process), 2013: 383-387.
- [11] Pal R, Sharma M K, Thangjam S. Ambulance siren noise reduction using virtual sensor based feedforward ANC system[C]. 2015 Second International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering, IEEE, 2015: 308-311.
- [12] Chen K H, Vu H S, Weng K Y, et al. Design of an efficient active noise cancellation circuit for in-ear headphones[C]. 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS), 2014: 599-602.

◇ 声学新闻和动态 ◇

2018年第九届全国储层声学 with 深部钻测技术前沿研讨会在北京召开

2018年“第九届全国储层声学 with 深部钻测技术前沿研讨会”于11月5日至7日在北京成功召开。本次会议由中国声学学会、中国地球物理学会和中国科学院声学研究所联合主办,会议还得到了国家自然科学基金委和北京市海洋深部钻探测量工程技术研究中心的资助。中国声学学会副理事长、中国科学院声学研究所党委书记张春华,中国地球物理学会副理事长熊盛青,国家自然科学基金委数理部物理科学一处处长倪培根等领导出席了会议。会议邀请了来自美国、澳大利亚、意大利、新加坡、阿根廷等国内外20位主讲专家做大会报告,吸引了来自中石油、中石化、中海油以及国内各研究院所与高校32家单位的130多名代表参会。

会议开幕式由大会组织委员会主席、中国科学院声学研究所超声技术中心暨北京市海洋深部钻探测量工程技术研究中心主任王秀明主持。中国声学学会副理事长、中国科学院声学研究所党委书记张春华首先代表主办单位致辞。他指出储层声学 with 深部钻探测量是声学所“十三五”战略规划中的重要培育性研究方向,承担着深地深海关键核心技术与装备的研发任务。最近几年取得了可喜的成绩,先后获批了北京市工程技术研究中心,建设了地质资源与地质工程一级学科博士学位培养点,成功突破了深部钻探测量的系列核心技术并研发了装备。他认为此次会议以储层声学、岩石物理、非常规油气储层勘探、井孔地球物理新方法和新技术应用为交流重点,介绍最新研究成果,为参会代表共同探讨相关科学技术的前缘交叉问题以及有效解决途径提供高端交流平台。

中国地球物理学会副理事长熊盛青代表联合主办单位-中国地球物理学会致辞。他首先介绍了中国地球物理学会的发展史及其地位和作用,然后介绍了近期成立的井孔地球物理学专业委员会的基本情况,结合本次会议的报告内容,他在促进井孔地球物理专业委员会快速发展方面做了重要的指导。中国石油大学(华东)唐晓明教授代表特邀主讲专家发言,认为这次会议邀请到了诸多国际相关著名学者,大家相聚一堂,开展储层声学理论与方法,深部钻测技术等深层次方面的交流,一定会产生很好的学术交流效果。

会议邀请了新加坡国立大学教授 Arthur Cheng、意大利国家海洋学和应用地球物理研究所(OGS)教授 José M. Carcione、阿根廷拉普拉塔国立大学教授 Juan Santos、澳大利亚科廷大学教授 Maxim Lebedev、澳大利亚联邦科学和工业研究组织(CSIRO)教授 Tobias Mueller、中国石油大学(北京)教授乔文孝、美国斯伦贝谢公司中国区域首席岩石物理学家赵先然、哈尔滨工业大学教授胡恒山、中石化油田事业部教授级高工薛兆杰、中国石油大学(华东)教授印兴耀、东方地球物理公司首席科学顾问余刚、东北石油大学教授宋延杰、中国科学院声学研究所研究员陈浩、河海大学教授巴晶、中石化胜利石油工程有限公司测井公司高级工程师许孝凯、中国科学院声学研究所副研究员何晓、中海油田服务股份有限公司高级工程师孙志峰、美国麻省理工学院(MIT)博士后王华、中国科学院声学研究所助理研究员王健等作报告。

大会期间,各位主讲专家深入浅出、热点突出的报告引起了从事方法研究、仪器研发和制造、数据处理与解释、地质评价和储层声学探测等方面的管理、生产和科研人员的强烈兴趣。参会代表和专家就多相孔隙地层的声学建模、声场数值模拟,声波测井和地震资料反演、岩石物理学、岩石声学、远探测声波和随钻声波与电磁测井等多个储层声学的理论和钻探测量技术前沿的热点领域展开了热烈的讨论与交流,深入探讨了在实际工作中遇到的理论难点问题及关键核心技术问题的解决办法。最后,大会组委会主席王秀明主持了会议讨论环节及闭幕式。他强调,储层声学 with 深部钻测研究工作,应面向地球科学领域中的三大科学问题,积极开展储层声学的基本关系、储层建模、快速反演和数据挖掘等问题研究。另外,他代表会议组委会,感谢主办单位领导的大力支持,感谢参会代表的积极参与,感谢会务组人员的辛勤劳动。会议如期圆满完成了各项日程,在一片热烈而祥和的气氛中落幕。

(中国科学院声学研究所 徐德龙)