一种数字前馈式有源降噪耳罩系统研究

邓帅博，章月新，刘 剑
(南京航空航天大学自动化学院，江苏南京 211106)

摘要：传统耳罩利用隔声原理降低噪声，一般在高频段有着良好的降噪性能，但由于耳罩体积和重量的限制，针对 700 Hz 以下低频段噪声的降噪性能较差。引入基于滤波-X 最小均方(Filter-X Least Mean Square, FXLMS)算法的前馈式有源降噪技术，将有效克服该缺点，使耳罩在低频范围取得良好的降噪性能。实验结果与分析表明，设计的基于 STM32 控制器的数字前馈式有源降噪耳罩对 1 000 Hz 以下窄带噪声有 15～25 dB 的降噪效果。

关键词：低频有源噪声控制；STM32 控制器；前馈式结构；滤波-X 最小均方算法
中图分类号：TN911.7 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-3630(2018)-04-0330-07
DOI 编码：10.16300/j.cnki.1000-3630.2018.04.007

Research on a digital feedforward active noise reduction headset system

DENG Shuai-bo, ZHANG Yue-xin, LIU Jian
(*College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing* 211106, *Jiangsu, China*)

Abstract: Traditional headset uses sound insulation principle to reduce ambient noise. This way generally has a good noise reduction performance in the high frequency section, but for low frequency signals below 700 Hz it is poor, because of the size and weight limit of the headset. The active noise reduction technique based on FXLMS algorithm is introduced to overcome the disadvantage of the traditional headset and achieve good noise reduction performance in low frequency range. Experimental results and analysis show that the digital feedforward active headset based on STM32 platform can get 15～20 dB noise reduction effect in the 50～1 000 Hz range.

Key words: low frequency; active noise control; STM32 controller; feedforward; FXLMS algorithm

0 引 言

高噪声环境严重影响人们的听力和身心健康，一般性的噪声也会对人们的正常生活和工作产生不同程度的影响。在科学研究和医疗工作中使用的仪器和器械都可能产生某些特定的噪声，这些噪声将对科学实验、医疗诊断或患者带来干扰[1]。对于高频噪声，采用传统的被动抑制方法(如隔音耳塞)即可消除，而针对低频噪声(通常低于 700 Hz)，被动抑制方法很难有效消除[2-3]。有源噪声控制(Active Noise Control, ANC)技术作为被动降噪方法的有效补充，针对低频噪声有良好的降噪效果。包含该技术的有源降噪耳罩无论在专业领域还是在日常生活中都有着十分广泛的用途。应用于听力保护领域，可以避免人员在飞机驾驶舱、坦克驾驶舱、轮机车间等场合受到噪声伤害；应用于音频重放领域，可有效消除噪声污染，为用户提供舒适的佩戴及听觉体验[4-6]。

有源噪声控制技术利用声波干涉相消原理，通过扬声器发出反噪声与耳罩内的噪声相抵消来实现降噪目的。有源降噪耳罩根据控制器的不同可分为模拟式和数字式两类。模拟式降噪耳罩需要严格的声学结构设计，每款耳罩都需要单独匹配硬件滤波网络，并且由于噪声的时变特性，需要多通道传递函数构成的低通滤波器进行滤波处理，而该传递函数使用模拟电路难以实现[7]。针对模拟式有源降噪耳罩的不足，数字式有源降噪耳罩成为研究热点。数字式有源降噪耳罩一般具有自适应控制模块，可称为自适应有源降噪耳罩。有源降噪耳罩工作时由传声器拾取控制信号，送入控制器的信号处理电路，产生连续的次级信号，经功率放大后驱动次级声源，产生与初级声信号频率相同、相位相反的次级信号，实现噪声抑制。

本文发挥 STM32 F4 嵌入式平台自身的性能优势，旨在验证含次级通道在线辨识的滤波-X 最小均

收稿日期：2017-04-04；**修回日期**：2017-07-15
基金项目：中央高校基本科研业务费专项资金(NS2016034)、南京航空航天大学研究生创新基地(实验室)开放基金(kfjj20160304)资助。
作者简介：邓帅博(1993－)，男，河南三门峡人，硕士研究生，研究方向为自适应信号处理与主动噪声控制。
通讯作者：刘剑，E-mail: jliu@nuaa.edu.cn

方(Filter-X Least Mean Square, FXLMS)算法在该嵌入式平台的运行效果，为设计一款低成本、易实现、适应性强、针对低频窄带噪声有明显降噪效果的数字前馈式有源降噪耳罩建立基础。

1　系统原理与算法仿真

1.1　系统原理

由于反馈系统鲁棒性不如前馈系统且在有限带宽范围内降噪能力有限，故本文所述降噪耳罩采用前馈式拓扑结构。同时为提高系统自适应性，利用在线系统辨识技术对次级通道进行辨识[8-9]，相应 ANC 系统方框图如图 1 所示。

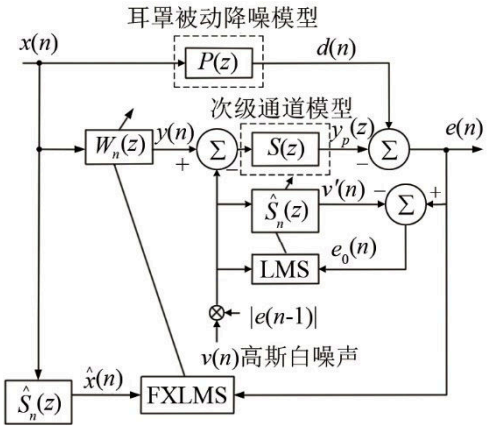


图 1　含次级通道在线辨识的前馈 ANC 系统

Fig.1　Feedforward ANC system with online secondary-path modeling

图 1 中进入耳罩的目标噪声 $d(n)$ 可表示为[8]

$$d(n)=\sum_{j=0}^{J_p-1} p_j x(n-j) \tag{1}$$

式中：$\{p_j(n)\}_{j=0}^{J_p-1}$ 为耳罩被动降噪模型 $P(z)$ 的系数。这里 $P(z)$ 采用长度为 J_p 、数字截止频率为 0.3π 的有限长单位冲激响应(Finite Impulse Response, FIR)滤波器。$x(n)$ 为初级噪声，在注入滤波-X 最小均方(FXLMS)算法之前，经由次级通道估计滤波并得到滤波参考信号[8]：

$$\hat{x}(n)=\sum_{m=0}^{\hat{M}-1} \hat{s}_m(n)x(m-n) \tag{2}$$

式中：$\{\hat{s}_m(n)\}_{m=0}^{\hat{M}-1}$ 为 n 时刻次级通道模型的系数，$\hat{M}$ 为次级通道估计模型的阶数，这些系数通过 LMS 在线系统辨识算法得到[8]：

$$\hat{s}_m(n+1)=\hat{s}_m(n)+\mu_s e_0(n)v(n-m)\left|e(n-m-1)\right|,\quad m=0,1,\cdots,\hat{M}-1 \tag{3}$$

式中：μ_s 为 LMS 算法的更新步长；$e_0(n)$ 为次级通道辨识误差；$v(n)$ 是用于次级通道在线辨识的激励辅助噪声，是均值为 0、方差为 σ_v^2 的高斯白噪声[12]；$|e(n-1)|$ 是系统误差单位延迟的绝对值，利用该值约束辅助噪声 $v(n)$，能够有效降低因 $v(n)$ 直接注入次级声源而对系统误差造成的影响[8,10]。

对很多实际的声学场合，次级通道 $S(z)$ 可用长度为 M、数字截止频率为 0.75π 的 FIR 滤波器来逼近[8]，即：

$$S(z)=\sum_{j=0}^{M-1} s_j z^{-j} \tag{4}$$

相应的次级通道估计模型(长度为 $\hat{M}$)为[8]

$$\hat{S}_n(z)=\sum_{j=0}^{\hat{M}-1} \hat{s}_m(n)z^{-m} \tag{5}$$

考虑到有源噪声控制对象为多频环境噪声，故设计控制滤波器为 L 阶横向 FIR 滤波器，表达式为[10]

$$\boldsymbol{w}(\boldsymbol{n})=[w_0(n),w_1(n),\cdots,w_{L-1}(n)]^{\mathrm{T}} \tag{6}$$

控制滤波器权系数通过 FXLMS 算法得到[10]：

$$w_m(n+1)=w_m(n)+\mu e(n)\hat{x}(n),\ m=0,1,\cdots,L-1 \tag{7}$$

式中：μ 为更新步长；$e(n)$ 为系统误差；$\hat{x}(n)$ 为滤波参考信号。由图 1 可知，系统误差 $e(n)$ 及次级通道辨识误差 $e_0(n)$ 可由以下计算式得到[10]：

$$e(n)=d(n)-y_p(n)=d(n)-\sum_{j=0}^{M-1} s_j(n)[y(n-j)-v(n-j)]\left|e(n-j-1)\right| \tag{8}$$

$$e_0(n)=d(n)-v'(n)=e(n)-\sum_{m=0}^{\hat{M}-1} \hat{s}_m(n)v(n-m)\left|e(n-m-1)\right| \tag{9}$$

次级声源表示为[10]

$$y(n)=\sum_{m=0}^{L-1} w_m(n)x(n-m) \tag{10}$$

1.2　算法仿真

随着系统的运行，系统误差 $e(n)$ 将随之减小直至稳态。为了降低辅助噪声 $v(n)$ 对 $e(n)$ 的影响，从而提高系统性能，希望 $v(n)$ 的能量也随之减小。自然的想法是利用系统误差 $e(n)$ 的非负函数对 $v(n)$ 进行约束。本文从实际控制的角度考虑，给约束因子附加单位延迟，即利用 $|e(n-1)|$ 约束辅助噪声 $v(n)$。Matlab 仿真结果定性说明，这种自激思想，有助于窄带前馈 ANC 系统性能的提高。为验证算法的有效性并定性说明加入 $|e(n-1)|$ 对系统降噪性能的改善作用，进行了仿真计算，结果如图 2 所示。

图 2 中仿真结果的仿真条件包括：初级噪声 $x(n)$ 包含的频率成分为 $[\omega_1,\omega_2,\omega_3]=[0.1\pi,0.2\pi,0.3\pi]$，对应的离散傅里叶系数(Discrete Foutier Coefficients, DFC)分别为 $\boldsymbol{a}=[2,0.1,0.5]$，$\boldsymbol{b}=[-1,-0.5,0.1]$，同时由于实际系统在麦克风采集噪声信号、AD/DA

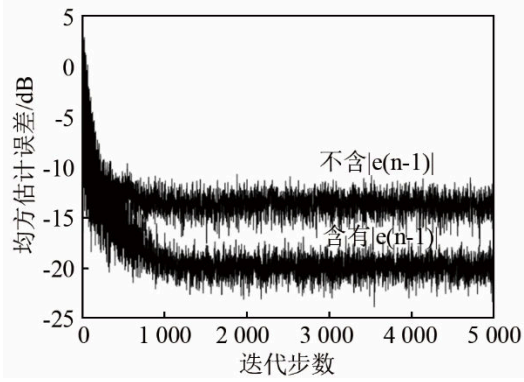


图 2 辅助噪声约束条件对系统降噪性能影响

Fig.2 Residual noise level before and after auxiliary noise is scaled by one-sample-delay absolute of the residual noise

转换及信号处理过程中不可避免会引入误差噪声，故对 $x(n)$ 添加额外加性噪声 $v_d(n)$，该噪声为能量 σ_d^2=0.1 的白噪声，即 $x(n)=\sum_{i=1}^{3} a_i\cos(\omega_i n)+b_i\sin(\omega_i n)+v_d(n)$；参考次级通道辨识的辅助噪声 $v(n)$ 能量 σ_v^2=0.25；控制滤波器 $W_n(z)$ 设为长度为 30(L=30)的横向 FIR 滤波器；次级通道 $S(z)$ 设为一个长度为 12(M=12)、截止频率为 0.55π 的 FIR 滤波器；耳罩被动降噪模型 $P(z)$ 设为长度为 20(M_p=20)、截止频率为 0.1π 的 FIR 滤波器；主滤波器 FXLMS 算法步长因子 μ=0.001，次级通道辨识 LMS 算法步长因子 μ_s=0.002。计算结果中所有期望值通过执行 40 次独立运算后取平均进行逼近。

在仿真中对于滤波器阶数和步长因子值的选取，理论上，对于任意时间序列模型可用一个可能是无穷阶的滑动平均(Moving Average, MA)模型表示，即 FIR 滤波器的阶数高越容易逼近实际时间序列模型，但阶数过高会使系统产生震荡。步长因子 μ 在 $0<\mu<1/\lambda_{max}$ 范围，λ_{max} 为采集信号自相关矩阵的最大本征值，且在叠代过程中是一个常数。若 M 取值较小则自适应叠代方程收敛慢，取值较大则误差能量函数产生振荡，甚至发散。本文采用试凑法，在算法收敛的前提下设置滤波器阶数 L 和收敛因子 μ。

2 基于 ARM 的 ANC 耳罩实现

2.1 硬件描述

STM32F4 系列单片机基于 ARM(Acorn RISC Machine) Cortex-M4 架构，主频为 168 MHz，增加浮点运算单元、数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)、并行计算等模块，自带三路 12 位模拟数字转换器(Analog-to-Digital Converter, ADC)，两路 12 位数字模拟转换器(Digital-to-Analog Converter, DAC)，ADC/DAC 均能与内部直接存储器(Direct Memory Asset, DMA)控制器配合使用，提高采样精度。芯片包含硬件随机数发生器，能提供次级通道在线辨识的辅助噪声。独立看门狗模块能防止系统程序发散造成爆音。本文采用 STM32F4 系列开发板，利用微电子机械系统(Micro- Electro-Mechanical Systems, MEMS)麦克风采集噪声，经信号调理电路后被开发板 ADC 模块采集。其中 ADC 开启 DMA 模式，使信号采集过程与主循环程序并行执行，缩短算法的执行时间，保证系统的实时性，同时采集多个样本进行均值滤波以提高 ADC 的准确性。

由于 STM32 的 ADC 接口正常工作电压范围在 0～3.3 V 之间，故需对拾音麦克风输出交流信号进行 1.65 V 电平抬升，并且在该信号进入 ADC 接口之前进行电压限幅，防止输入电压超限烧毁 ADC 接口。

ADC 转换后的信号经 STM32F4 微处理单元计算处理，通过 DAC 模块、信号重构滤波和功率放大，驱动降噪扬声器发出反噪声，实现降噪。STM32F4 微处理单元及嵌入式算法是整个系统的核心，完成噪声的采集处理及反噪声的产生。硬件电路结构图和系统硬件方框图分别如图 3、4 所示。

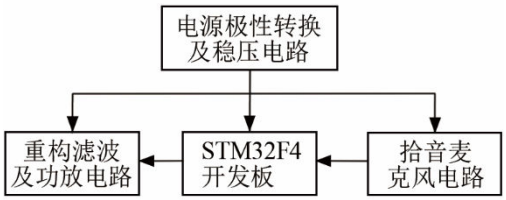


图 3 硬件电路结构图

Fig.3 Hardware circuit diagram

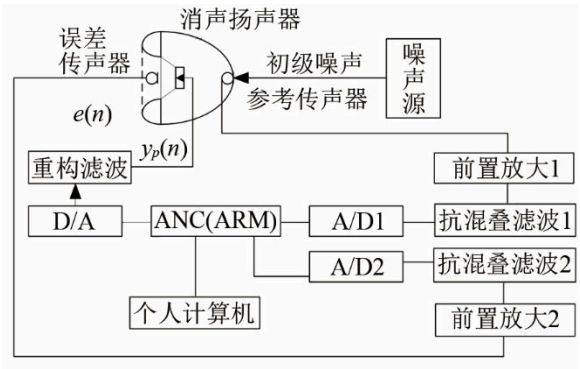


图 4 ANC 降噪耳罩实验方框图

Fig.4 Experimental diagram for ANC headset

2.2 程序设计

有源降噪耳罩程序主要由五部分构成：硬件初

始化、AD/DA 转换模块、自适应控制模块、白噪声获取模块和独立看门狗模块。其中 AD/DA 转换模块和自适应控制模块是最重要的两部分。硬件初始化完成对微控制单元(Microcontroller Unit，MCU)相关硬件资源的配置；ADC 转换模块实现目标噪声 $d(n)$ 和误差噪声 $e(n)$ 的采集，DAC 转换模块实现反噪声信号 $y_p(n)$ 的输出，其中开启 DMA 模式的 ADC 模块可以通过均值滤波产生更准确的数字量；自适应控制模块内嵌 FXLMS 算法，处理由 ADC 模块采集的噪声数据，并产生次级声源 $y(n)$；白噪声获取模块操作硬件随机数发生器产生高斯白噪声；独立看门狗模块用于监测耳罩内误差噪声 $e(n)$ 的幅值是否超限，如果超限则停止更新看门狗定时器，使系统复位防止程序发散造成爆音。程序设计流程图如图 5 所示。

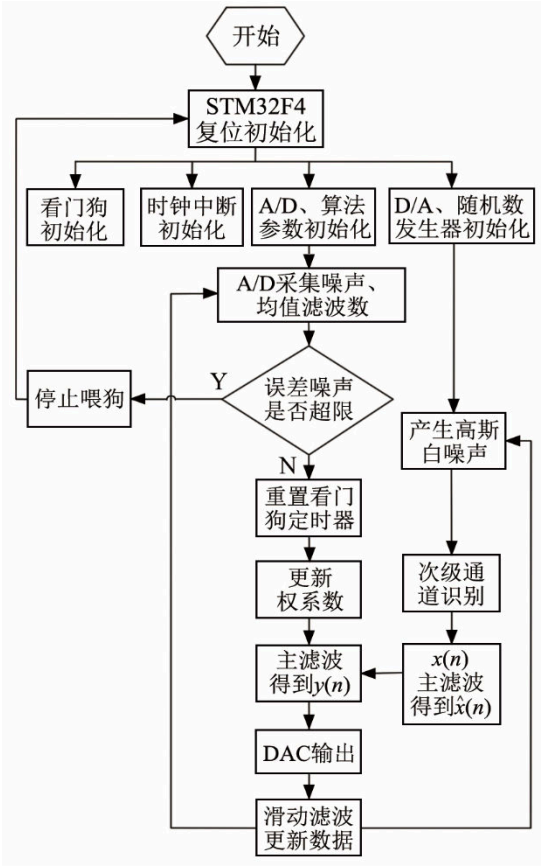


图 5　系统软件流程图

Fig.5　The flow chart of system software

本文描述的降噪耳罩中，噪声信号由 12 位 AD 转换成 0～4 095 之间的数字量，为防止算法发散，需对 AD 转换结果进行归一化处理：

$$N_{\text{normal}}=\frac{N_{AD}}{2\,048}-1 \tag{11}$$

其中，N_{AD} 和 N_{normal} 分别表示 AD 转换值及其归一化后的值。N_{normal} 在经 FXLMS 算法计算后得次级声源值 y_d，该值的绝对值一般较小，多数值都小于 1，要通过 DAC 接口输出有用信号，相应的 DA 输出需要重新扩大到 0～4 095 范围，在这里引入比例因子 k，对次级声源计算值进行放大。由于降噪算法具有自适应性，会根据误差信号大小动态调整输出值，所以如果比例因子较大，算法的输出值则会变小，反之变大。实际操作按式(12)进行：

$$N_{\text{out}}=y_d k+2048 \tag{12}$$

其中，N_{out} 表示 DA 转换值。在本文描述的降噪耳罩中，算法预设参数如表 1 所示。

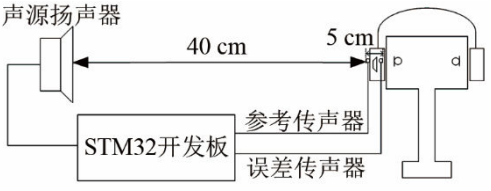
表 1　算法预设参数

Table.1　Algorithm preset parameters

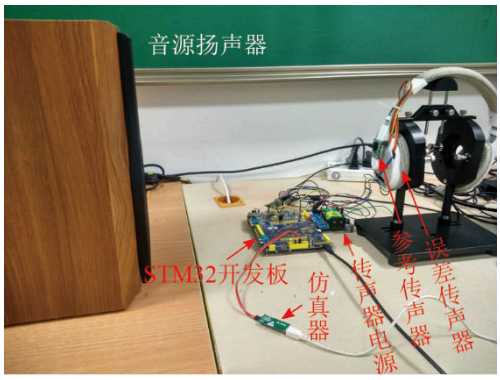
参数	取值
$\hat{M}$	12
L	130
k	100
μ	0.000 5
μ_s	0.000 5

2.3　结果与分析

本文实验装置示意图和实物图分别如图 6(a)、6(b)所示。声源扬声器距离参考传声器 40 cm，夹角为 0°；参考传声器和误差传声器距离为 5 cm。对于前馈 ANC 系统，初级通道是从参考传声器到误差传声器之间的物理通道[10]。对于线性系统，声学信号通过初级通道表现为信号从参考传声器到误差传声器的延迟。初级通道延时必须高于次级通道延时时长，才能保证系统的因果性[11]。本实验中耳罩顶部参考传声器与耳罩内部误差传声器的直线距



(a)　实验装置示意图



(b)　实验装置实物图

图 6　实验装置的连线图和照片

Fig.6　Wiring and photograph diagram of the experimental device

离为 5 cm，系统采样频率为 16.94 kHz，计算得到初级通道比次级通道多 2.49 即 2 个采样点以上的延迟，满足因果性要求。由于针对的目标噪声为 1 000 Hz 以下的低频噪声，故 16.94 kHz 采样频率满足香农采样定理的要求[8]。

当初级声源是由电声分析仪产生的 200 Hz 单频正弦噪声时，降噪前后耳罩内噪声波形如图 7 所示 (黑色表示降噪前噪声，蓝色表示降噪后噪声)。本文测试用电声分析系统采用杭州兆华公司的 CRY6181，该电声分析仪含四路输入/输出通道，采样率 24 bit/192 kHz，测试精度为±0.1 dB，本底噪声–105 dBV。CRY6181 电声分析仪测得对应动态降噪曲线如图 8 所示。从图 8 中可以看出，本文所述的降噪耳罩对于 200 Hz 单频信号有约 24 dB 的降噪效果，从打开降噪到基本稳定用时大约 14 s。改变初级噪声为混合频率噪声，频率成分包括 200 Hz、300 Hz 和 500 Hz，幅值之比为 1∶1∶0.5，降噪前后耳罩内噪声波形如图 9 所示 (黑色表示降噪前噪声，蓝色表示降噪后噪声)。同样采用 CRY6181 电声分析仪测得对应的动态降噪声压曲线如图 10 所示。从图 10 可以看出，降噪耳罩对于三频率混合噪声有约 20 dB 的降噪效果，从打开降噪到基本稳定用时大约 20 s。

为了进一步验证本文所述降噪耳罩对窄带噪声的降噪效果，由 CRY6181 发出以 1/6 倍频程为间隔、频率范围为 50 Hz～4 kHz 的正弦扫频信号，由 CRY318 人工耳采集耳罩内误差噪声，然后传入 CRY6181 电声分析系统测量耳罩的降噪特性。由于数字式降噪耳罩收敛需要额外时间，故本文采用手动控制方式发出正弦信号，即当耳罩在一个频率收敛后再发出相邻频率的下个信号。

电声分析系统获得的有源降噪耳罩降噪特性曲线如图 11、12 所示。由图可知，耳罩的被动降噪性能对 1 kHz 以下噪声基本没有效果，甚至由于耳罩内低频噪声的谐波激发使得被动降噪后噪声反而略有增加。而有打开有源降噪功能后，耳罩对 2 kHz 以下、90 dB 左右声压级的正弦扫频初级噪声有明显的降噪效果，在较宽频率范围内降噪量达 15 dB 以上。但对于 2 kHz 以上的信号，由于系统噪声和算法误差等因素的影响，随着频率的提高，主动降噪性能不断下降，当频率上升到 3 kHz 以上，基本不能发挥主动降噪性能。

为验证降噪耳罩在较宽频带范围的降噪效果，当初级噪声为 100～1 000 Hz 带宽的粉红噪声时，得到降噪前后耳罩内噪声如图 13、14 所示，频谱曲线如图 15 所示。

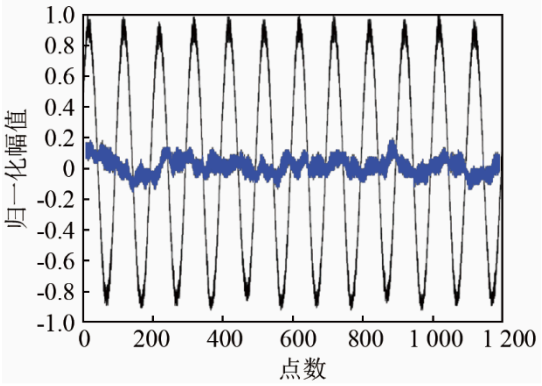


图 7 200 Hz 初级噪声降噪前后耳罩内噪声

Fig.7 Noise in headset before and after noise reduction for 200 Hz primary noise

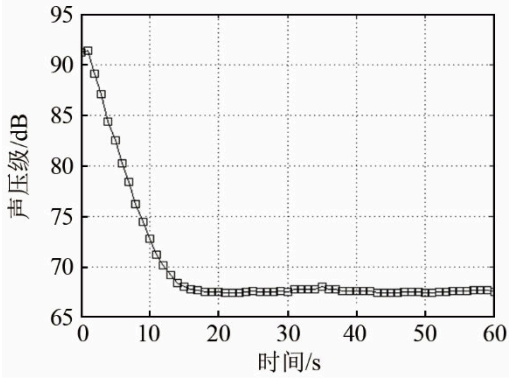


图 8 200 Hz 初级噪声降噪声压级曲线

Fig.8 Noise reduction curve for 200 Hz primary noise

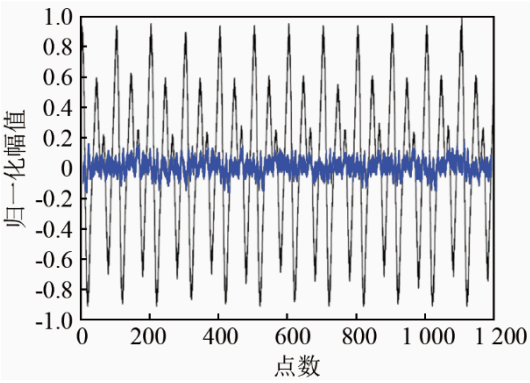


图 9 混频初级噪声降噪前后耳罩内噪声

Fig.9 Noise in headset before and after noise reduction for frequency mixing primary noise

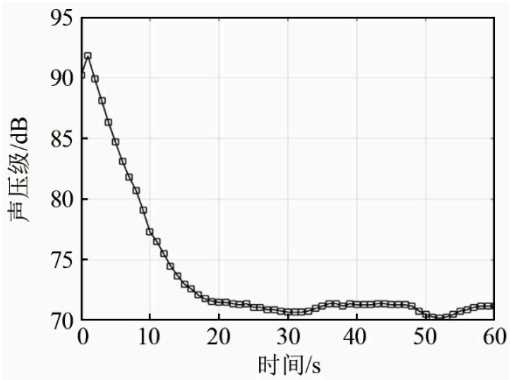


图 10 混频初级噪声降噪声压级曲线

Fig.10 Noise reduction curve for frequency mixing primary noise

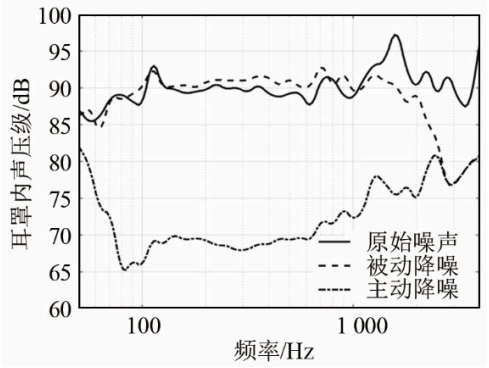


图 11　降噪前后耳罩内声压频率特性曲线

Fig.11　Frequency characteristic curves of sound pressure in headset before and after noise reduction

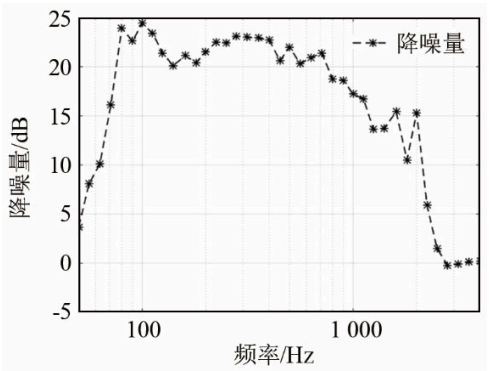


图 12　降噪量曲线

Fig.12　Noise reduction curve

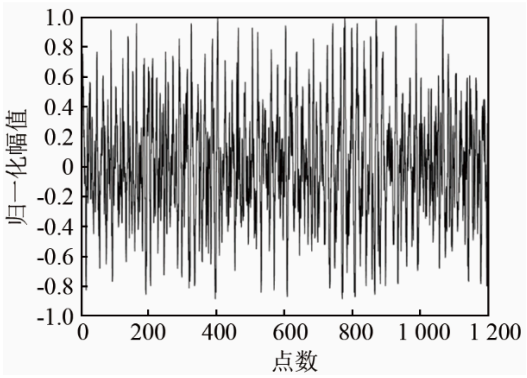


图 13　降噪前耳罩内噪声波形(50～700 Hz)

Fig.13　The 50～700 Hz noise waveform in headset before noise reduction

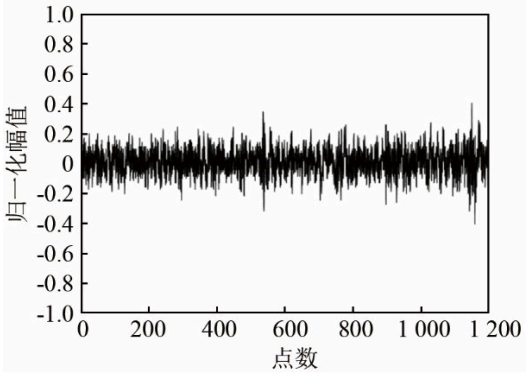


图 14　降噪后耳罩内噪声波形(50～700 Hz)

Fig.14　The 50～700 Hz noise waveform in headset after noise reduction

由图 15 可知，本文所述的主动降噪耳罩对于 100～1 000 Hz 带宽的粉红噪声有较好的降噪效果。CRY6181 电声分析仪测得开启主动降噪后，耳罩内部粉红噪声由 85.2 dB 降低到 73.0 dB，整体降噪量为 12.2 dB。由图 15 可知，在整个频带范围内的噪声基本都有不同程度的降噪效果，且频率越低，降噪效果越明显。

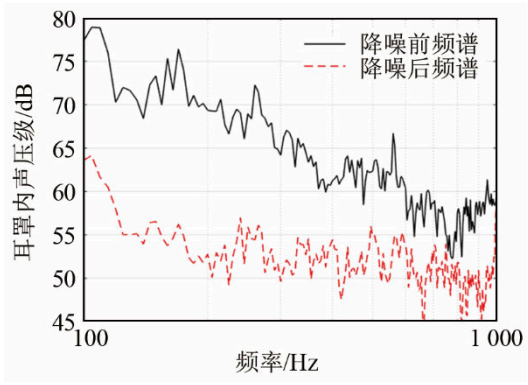


图 15　降噪前后耳罩内噪声频谱

Fig.15　The spectrum of noise in headset before and after noise reduction

3　结　论

本文研究了一种含次级通道在线辨识的前馈式有源降噪耳罩，首先分析了在线辨识在线标定次级通道的 FXLMS 算法，原理并进行了 MATLAB 仿真。然后基于 ARM STM32F4 平台，搭建原型机进行降噪耳罩实验。通过单一频率、混合频率、正弦扫频信号和粉红噪声等多种初级声源的验证，表明该耳罩对于低频窄带噪声和一定带宽的粉红噪声有明显降噪效果，验证了系统设计的可行性和算法的有效性。

针对耳罩宽带降噪效果有限的不足，下一步的研究目标为优化算法及引入隔音性能优良的工业降噪耳罩，以提高消噪频带的宽度。

参　考　文　献

[1] KUO S M, MORGAN D R. Active noise control systems: algorithms and DSP implementations[M]. New York: Wiley, 1996: 159-164.

[2] ERIKSSON E J, ALLIE M C, BREMIGAN C D, et al. Active noise control and specifications for fan noise problems[C]//West Lafayette: Noise-Con, 1988: 273-278.

[3] DENENBERG J N. Anti-noise-quieting the environment with active noise cancelation technology[J]. IEEE Potentials, 1992, **11**(2): 36-40.

[4] CARME C. A new filtering method by feedback for ANC at the ear[C]//Avignon: Inter-noise. 1991: 513-516.

[5] VEIT I. A lightweight headset with an active noise compensation[C]//Avignon: Inter-noise. 1998: 1083-1086.

[6] WHEELER P D, SMEATHAM D. On spatial variability in the attenuation performance of active hearing protectors[J]. Appl. Acoust, 1992, **36**(3): 159-162.
[7] 陈斌, 冯燕. 基于 DSP 的耳机噪声抵消系统的设计与实现[J]. 电声技术, 2010, **34**(4): 79-82.
CHEN Bin, FENG Yan. Design and implementation of adaptive active noise cancellation headset system based on DSP[J]. Audio Engineering, 2010, **34**(4): 79-82.
[8] 刘剑. 基于 FXLMS 算法的窄带有源噪声控制系统性能分析研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学博士学位论文, 2011: 105-106.
LIU Jian. Performance analysisof narrowband active noise control system based on FXLMS algorithm[D]. Harbin: Doctoral Dissertation of Harbin Institute of Technology, 2011: 105-106.
[9] VU1 H S, CHEN K H, FONG T M. Active noise control for in-ear headphones: implementation and evaluation[C]//Taipei: IEEE International Conference on Consumer Electronics, 2015: 264-265.
[10] 孙金玮, 孙琳, 刘剑, 等. 一种含次级通道在线辨识的窄带有源噪声控制系统[J]. 仪器仪表学报, 2011, **32**(2): 253-254.
SUN Jinwei, SUN Lin, LIU Jian, et al. One narrowband active noise control system with online secondary-path modeling[J]. Journal of Instrumentation, 2011, **32**(2): 253-254.
[11] ZHANG L, WU L, QIU X. Causality study on a feedforward active noise control headset with different noise coming directions in free field[J]. Applied Acoustics, 2014, **80**(1): 36-44.
[12] 文静, 文玉梅, 李平. 基于噪声白化准则的自适应噪声抵消方法[J]. 仪器仪表学报, 2010, **31**(8): 1693-1698.
WEN Jin, WEN Yumei, LI Ping. Adaptive noise cancellation method based on error whitening criterion[J]. Journal of Instrumentation, 2010, **31**(8): 1693-1698.

中国科学院声学研究所东海研究站仿生耳与声音技术实验室团队参加“创业中国”2018 第六届创业大赛年度总决赛

近日，由上海嘉定先进技术创新与育成中心主办的“创业中国”2018 第六届创业大赛年度总决赛在嘉定工业区圆满举行。本届大赛涉及新材料、医疗健康、光机电、人工智能、先进制造等多个行业领域，重点聚焦亚洲、北美洲、大洋洲地区顶尖创新科技，深度挖掘包括波士顿、纽约、休斯敦、滑铁卢、新加坡、悉尼、上海在内的 7 大城市优质项目资源，累计项目报名数量 116 个，共 40 个项目入围复赛，最后汇聚 12 支顶尖海内外人才创业团队，为参会的近 200 名嘉宾展示不一样的“硬科技”魅力。

东海站仿生耳与声音技术实验室团队的参赛项目为“个体参数定制的数字助听设备”，由陈友元副研究员带队参赛。当下很多人尤其是老年人正在经受不同程度的听力损失的困扰，生活品质受到了很大的影响。这样的人群数量在全球高达到 11 亿，占总人口数量的 16%。但是，由于市场上现有助听器的高昂价格以及复杂的电脑调试服务限制了助听器的使用和普及，现阶段国内助听器佩戴率还不到 5%。该项目以手机自主调试为出发点，针对轻中度听力损失人群开发“个体参数定制的数字助听设备”，为他们带来交流和沟通上的帮助。

比赛中，12 个项目的负责人依次上场。每位选手在 7 分钟讲解和 8 分钟评委问答的项目展示时间内，详细且浅显易懂地说明所带来项目的基本原理、商业构思及未来发展计划，与其他同类竞品相比的优势。经过激烈的角逐，决出了 6 个入围奖及 6 个单项大奖。东海站仿生耳与声音技术实验室团队的参赛项目获得“入围奖”。

据悉，“创业中国”作为全国首个侧重“硬科技”领域的年度国际创业赛事活动，已成为全年无休的海外人才来华创业平台，依托长三角地区的产业优势、中国科学院的技术支撑、上海嘉定的政策支持，“创业中国”已完成在全球 4 大洲近 20 个城市国际合作网络的布局，通过科技、人才和资本的结合，在帮助海内外高层次人才创新创业的同时，也为把嘉定区建设成为科技创新中心重要承载区贡献力量，为上海市科创行业的发展注入了活力。

《声学技术》编辑部