

一种改进的小波阈值法去除耳声发射中的伪迹*

张灵芝 严碧歌[△]

(陕西师范大学 物理与信息技术学院 陕西 西安 710062)

摘要 本文探讨了耳声发射及其分类、特性、目前存在的问题和相关研究方法,并提出一种改进的小波阈值处理方法,它是基于一种多分辨分析小波阈值去噪,在传统的软、硬阈值去噪基础上设立两个变量,通过调节这两个变量有效地达到去除噪声的效果。

关键词 耳声发射;信号处理;小波阈值

中图分类号:O428,Q62 文献标识码:A 文章编号:1673-6273(2012)07-1346-03

An Improved Wavelet Thresholding to Reduction of Stimulus Artifact in Evoked Otoacoustic Emissions*

ZHANG Ling-zhi, YAN Bi-ge[△]

(College of Physics and Information Technology, ShaanXi Normal University, Xi'an 710062, China)

ABSTRACT: This article describes the Otoacoustic emission and its classification, characteristics, current problems and research methods, and improved wavelet threshold method, which is based on a multi-resolution analysis of wavelet threshold about the soft and hard traditional threshold and established two variables, by adjusting these two variables effectively achieve the effect of removing noise.

Key words: OAE; Signal Processing; Threshold of Wavelet

Chinese Library Classification(CLC):O428, Q62 Document code: A

Article ID:1673-6273(2012)07-1346-03

前言

近 20 年来耳科学领域的重大研究进展之一是对耳声发射现象的探讨。关于耳声发射,Gold(1948)曾提出耳蜗能产生声能的假设,而 Kemp(1978)首次发现,当向耳内输入一短声或短纯音,经 5~15ms 的潜伏期后,在外耳道内可记录到一微弱的声波,这即为耳声发射(OAE)^[1]。因此于 1986 年定义为耳声发射是一种产生于耳蜗,经听骨链及鼓膜传导释放入外耳道的音频能量,即耳蜗外毛细胞发出的声音,以空气振动的形式释放出来,并通过放在耳道里的密封的微音接受器探头,经特殊仪器记录的一种客观检查方法^[2]。所以说耳声发射并不是简单的声反射物理现象,而是生理过程,因为在外毛细胞缺失或损害以及人的听力损失 40~50dB 的情况下,不会出现 OAE;而刺激耳蜗传出神经可影响发射声的振幅^[3]。

1 依据是否存在外界刺激声信号诱发耳声发射可分为两大类

1.1 自发性耳声发射(SOAE)

SOAE 是说耳蜗不需任何外来刺激,持续向外发射机械能量,形式极似纯音,其频谱表现为单频或多频的窄带谱峰。

1.2 诱发性耳声发射(EOAE)

EOAE 是通过外界不同的刺激声模式引起各种不同的耳蜗反应。依据由何种刺激诱发,又可进一步分为瞬态诱发耳声发射、刺激频率诱发耳声发射、畸变产物耳声发射和电诱发耳声发射^[4]。①瞬态耳声发射(TEOAE),是指耳蜗受到外界短暂

脉冲声(一般为短声或短音,时程在数毫秒以内)刺激后经过一定潜伏期、以一定形式释放出的音频能量。由于有一定的潜伏期也被称为延迟性耳声发射,并且它能重复刺激声内容,类似回声,也称 "Kemp 回声"^[5]。②畸变产物耳声发射(DPOAE),是耳蜗同时受到两个具有一定频率比值关系的初始纯音刺激时,由于基底膜的非线性调制作用而产生的一系列畸变信号,经听骨链、鼓膜,传入外耳道并被记录到的音频能量。③刺激频率诱发耳声发射(SFOAE),耳蜗受到一个连续纯音刺激时,会与刺激声性质相同的音频能量发射回外耳道。这种耳声发射的频率与刺激频率完全相同。④电诱发耳声发射(EOAE),对耳蜗施以交流电刺激能够诱发出与刺激电流相同频率的耳声发射,称为电诱发耳声发射。这种耳声发射只在动物上进行。

作为一种无损、客观、高效的听力检测手段,耳声发射检测能够有效反映外周听觉系统以及耳的功能状况,现已被广泛应用于耳科临床和听力筛查。使用最广泛的是瞬态诱发(TEOAE)和畸变产物耳声发射(DPOAE)。

2 耳声发射具有下列一般特性

不同耳的耳发射声的波形、时程和振幅差异很大,但同一耳的波形非常一致,重复性好;频率成分是窄带的,大致在 500Hz~4kHz 范围内^[6],潜伏期随刺激声的频率而变化,频率高则短,低则长,振幅与刺激声强度间呈非线性关系,一般强度在 -5~20dB(SPL)范围,很少超过 20dB(SPL),是哺乳类动物

* 基金项目 国家自然科学基金(10074043)

作者简介 张灵芝(1987-),女,硕士生,研究方向:生物医学工程物理,E-mail:zhanglingzhi_2008@126.com

[△]通讯作者:严碧歌,教授,E-mail:yanbig@163.com

(收稿日期:2011-09-10 接受日期:2011-09-30)

的一般性现象,在灵长类、猫、犬与豚鼠等动物都能记录;当内耳外毛细胞的功能受到噪声、耳毒性药物的影响后,耳声发射会减少或消失。

3 耳声发射信号处理中存在的问题

有关耳声发射的应用越来越广泛,但其信号处理方面还存在着很多问题,主要问题和目前的方法如下:

3.1 噪声的去除

OAE 中噪声包括:白噪声,也就是系统所固有的噪声;非白噪声,一种是高频噪声,由系统本身所引起;另一种是低频噪声,也就是测量仪器的嗡嗡声,室内脚步声,室内人员的呼吸等,目前的处理方法有:①相干平均法:对于不同的 OAE 所需的平均次数不同,如 SFOAE 则需十几次, DPOAE 需三十多次,而 TEOAE 则需要上千次。相干平均技术最突出的优点是简单易行。但由于为达到一定的信噪比,需要对大量的样本进行平均,这无形中延长了测量时间,因此具有一定的局限性^[7]。②阈值截取法:这种方法基本思想是对于一个新样本,先估计它的信噪比,若过低,则放弃改该样本,重新采样,否则对其进行处理,加大其信噪比。该方法的核心和难点是阈值的选取,过高会丢掉有价值得样本,过低则起不到抑制噪声的作用。它的优点是可以很大程度上提高信噪比(因为信噪比低的被丢掉),它的缺点是需要很长的时间去得到一定数量的满足信噪比要求的样本。③带通滤波法:这是一种简单而原始的方法,它的基本思想是信号与噪声具有不同的频带,因此通过去除噪声所对应的频率,便可以达到保持信号的同时又抑制噪声的目的,简便是这种方法突出的优点,它的缺点是由于信号的频带与噪声的频带可能会交迭,因而会引起信号的失真。由于 OAE 信号较弱,很容易被淹没在噪声中,因此噪声的抑制一直是 OAE 测量中很重要的问题。目前采用的这些方法虽起到一定作用,但还具有很大局限性,将现代信号的处理方法如自适应滤波、匹配滤波、时频特征降噪,神经网络降噪等应用于 OAE 信息处理可能会得到更好的效果。

3.2 伪迹的消除

临床上研究较多的为瞬态诱发耳(TEOAE)及畸变产物耳声发射,刺激频率耳声发射(SFOAE)有较多的缺点,临床应用较少,有关瞬态诱发耳声发射主要问题是伪迹的去除,伪迹是指在测量 TEOAE 时耳道对刺激声直接反射的回声信号。目前常用的伪迹去除方法有

①时域加窗法:它的依据是从刺激声算起约 5ms 伪迹就可完全消失,而 TEOAE 有 3~5 的潜伏期,所加的时窗不同,由于

从刺激开始算起 0~2.5 主要为伪迹,因此取值为 0;而 5.1~20 主要为 TEOAE 信号^[8];当取为 1 2.5~5.1 之间为伪迹与 TEOAE 共存区域,由于随着时间的增加伪迹成分减少而 TEOAE 成分增多,因此可采用上升的余弦曲线。时域加窗法的突出优点是能将伪迹干净的去掉,且实用简单。但 TEOAE 中短潜伏期的成分(往往是高频成分)也同时被去掉了。②导出的非线性响应(DNLR):此方法又称非线性差分平均法,被用于 TEOAE 检测去除刺激伪迹^[9]。它是一种改进的相干平均方法,基于以下几点假设:TEOAE 信号相对于刺激声是确定性信号;刺激伪迹的增长是线性的,刺激声强度在一定范围内时,刺激伪迹幅度以及刺激声幅度的变化是线性的;刺激强度较大时,TEOAE 信号幅度增长是非线性的,具有饱和性,不随刺激声幅度的变化而变化,刺激伪迹和 TEOAE 信号的相位均随刺激声相位的反向而精确反向。此种方法的突出优点是当刺激强度适当时,TEOAE 可表现出较强的非线性,可有效地去除刺激伪迹,但此方法有其自身的局限性,它在消除刺激伪迹线性成分的同时会连同 TEOAE 中的线性成分一起消除掉,在保留非线性的 TEOAE 信号时也将伪迹的线性成分一起保留,实际应用中,常常与其他方法配合使用,才能达到较好的去除刺激伪迹效果,如窗函数法和、双向滤波法、基于小波变换的方法等。③小波分析的方法:为了能更有效的去除刺激伪迹,小波变换的方法已被多次应用于耳声发射,此方法在不降低信噪比的前提下,不仅能有效的去除刺激伪迹,而且保留了 TEOAE 信号中有用的高频信息^[10],并且在任何刺激强度下均可进行。但该方法计算量较大,适用于耳声发射的离线处理并且只能消除确定时间段内的噪声,但有的刺激伪迹的时间段并不在所选取的范围中。它的实验结果基本符合 TEOAE 信号的分布规律。

4 改进的双阈值方法去噪

以上方法已经在耳发射中被广泛应用于分析和实践当中,为了更准确具体的获得所需信息,在此有一种改进型小波阈值算法:该方法在多分辨分析小波阈值去噪的基础上,提出了一种新的双变量阈值函数,运用小波阈值进行去噪。主要是因为信号和噪声具有不同的奇异性,随着尺度的增加,信号的小波模极大值增大,而噪声却相反,利用该特性通过尺度变换,进行阈值处理,能够较好的去除噪声。传统的阈值方法有硬阈值和软阈值^[11]即:

硬阈值函数如下,其示意图如图 1(a)所示。

$$y_h(x) = \begin{cases} x, & |x| \geq t \\ 0, & |x| < t \end{cases} \quad (1)$$

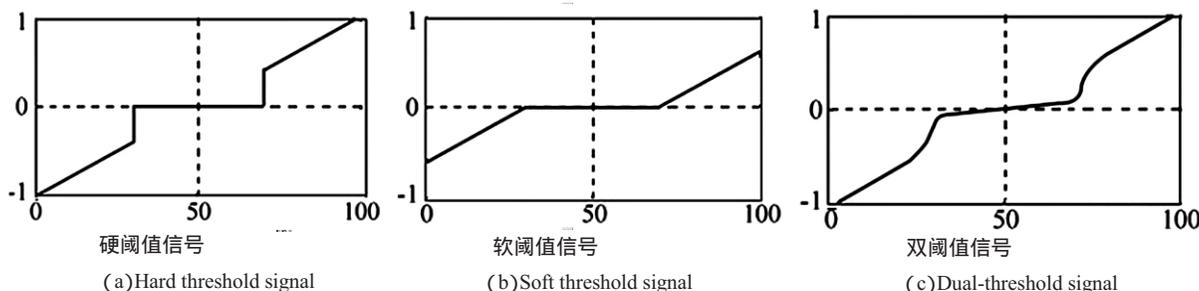


图 1 不同阈值函数图

软阈值函数如下:其示意图如图 1(b)所示。

$$y_h(x) = \begin{cases} \text{sgn}(x)(|x| - t), & |x| \geq t \\ 0, & |x| < t \end{cases} \quad (2)$$

双变量阈值法函数如下:其示意图如图 1(c)所示
设第一阈值变量为 t,第二阈值变量为 k(0<k<t)

$$y_h(x) = \begin{cases} x \cdot \frac{|x|^m - t^m}{|x|^m}, & |x| \geq t \\ 0, & |x| < k \\ x - t + \frac{2t}{1 + \exp(2x/t)}, & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

当 k=t,m=60 时即满足硬阈值函数要求;当 k=t,m=1 时即满足软阈值函数要求,在此函数中通过调节 m 与 k 能够在实验中更好的进行去噪,它减小了软阈值函数去噪中出现的偏差,克服了采用硬阈值效果不佳而软阈值法过度光滑使信号失真的缺点。从而达到有效去噪的目的。

5 结束语

综上所述,耳声发射及其它所传达的信息急待我们深入研究,采用恰当的处理方法来分析、处理信号显得至关重要,这有利于进一步有效、准确地去除刺激伪迹、降低噪声。改进的双阈值方法能够消除硬阈值法去噪效果的不佳,软阈值法不能很好反映原始信号的缺点。与其他方法相比,它的去噪效果明显,而且能够很好的保持原有信号的特征,具有很高的应用价值。

参考文献(References)

[1] Kemp DT, BrayP, Alexander L, et al. Acoustic emission cochleography practical aspects [J]. Scandl Audiol Suppl, 1986, 25(Suppl): 71-95

[2] 何永照,姜泗长.耳科学(上册)[M].上海科学技术出版社,1983: 98-135
He Yong-zhao, Jiang Si-Chang. Otology The book [M]. Shanghai Science and Technology Press, 1983:98-135

[3] Probst R,Lonsbury-Martin GK.A reiew of otoacoust emissions [J].J

ACOUST Soc Am, 1999, 89(5): 2027-2067

[4] 李丽明,林金森,张正国.耳声发射的研究进展[J].国外医学生物医学工程分册,1996,19:6
Li Li-ming, Lin Jing-sen, Zhang Zheng-guo. Advances in otoacoustic emission study [J]. International Journal of Biomedical Engineering volumes, 1996, 19: 6

[5] 宫琴,叶大田.瞬态诱发耳声发射信号的检测、分析及应用[J].航天医学及医学工程, 2003, 4(16): 544-533
Gong Qin,Ye Da-tian. Signal Detection and Analysis of the Transient-evoked Otoacoustic Emissions and Its Application.[J]. Space Medicine and Medical Engineering, 2003, 4(16): 544-533

[6] 宫琴,叶大田,郭连生,等.对侧刺激声作用下瞬态诱发耳声发射信号的相位研究[J].航天医学与医学工程, 2001,14(6):414-418
Gong Qin, Ye Da-tian, Guo Lian-sheng, et al. Phase Variation Analysis of Transient Evoked Otoacoustic Emission Signal with or without Contralateral ACOUSTIC Stimulation Under the effect of contralateral sound stimulation of transient evoked otoacoustic emissions phase of [J]. Space Medicine and Medical Engineering, 2011, 14(6): 414-418

[7] Ravazzan I P, Grandori F. Evoked otoacoustic emissions:nonlinearities and response interpretation [J].IEEE Trans. Biomedical Eng,1993,40 (5): 500-504

[8] 胡广书.数字信号处理[M].清华大学出版社,2003:344-523
Hu Guang-Shu. Digital Signal Processing [M]. Qinghua University Press, 2003: 344-523

[9] Whitehead L, Stagner BB, Lonsbury-Martin BL, et al. Measurement of otoacoustic emissions for hearing assessment [J]. IEEE Eng in Medical and Biology,1994,13(20): 210-226

[10] 柴新禹,程敬之,董宏斌等.小波变换在去除瞬态诱发耳声发射信号刺激伪迹的方法研究[J].清华大学报,2011,41(9):31-35
Chai Xin-yu, Cheng Jing-zhi, Dong Hong-bin, et al. Wavelet Application To Reduction of Stimulus Artifact in transient evoked Otoacoustic Emissions test [J]. Qinghua University Press, 2011, 41(9): 31-35

[11] 付炜,许山川.一种改进的小波阈值算法[J].传感技术学报,2006,4 (2): 12-36
Fu Wei, Xu Shan-chuan. An improved wavelet thresholding algorithm[J]. Journal of Sensor Technology, 2006, 4(2): 12-36