

【兵器与装备】

一种新的小波阈值法在语音信号处理中的应用*

李荣祥,马春庭,程翔,姚建国

(军械工程学院 火炮工程系,石家庄 050003)

摘要:针对传统阈值降噪法的不足,本着提高滤波效果、去噪质量的目的,提出了一种改进的小波阈值函数的构造方法.不仅克服了硬阈值函数不连续的缺点,而且解决了软阈值存在的恒定偏差,同时它具有软硬阈值函数不可比拟的灵活性.仿真结果表明,无论在视觉效果上还是在信噪比和均方误差意义上,该阈值函数较传统的阈值函数具有明显的优势.

关键词:语音降噪;小波阈值;信噪比;均方误差

中图分类号: TN912.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2008)03-0045-03

语音是比较复杂的声音信号,和其他各种声音一样具有一般声音的物理特性,听觉系统是外界语音信息进入大脑的唯一通路,在听觉通路的各个阶段都要对语音信号进行处理,语音信号是一种事件信号,是时间信号.语音信号随时间变化剧烈,转瞬即逝,是复杂的随机信号^[1].所以研究语音信号的分析处理技术将对普通声音信号的研究具有很大的指导意义.传统的语音降噪方法是傅里叶变换,但是它不具有局部分析的能力,短时傅里叶变换虽然在一定程度上克服了这种缺陷,但是对非平稳的信号短时傅里叶变换不能兼顾在高频较高的时间分辨率和低频较高的频率分辨率.小波分析是一种窗口大小固定但其形状可改变,时间窗和频率窗都可以改变的时频局部化分析方法^[2].本研究提出了一种改进的小波降噪阈值函数,克服了传统的软硬阈值法的缺点.实验仿真结果表明,这种阈值函数较传统的方法有很大的优越性.

1 小波降噪的原理与实现过程

一个含噪声的一维信号的模型可以表示成:

$$s(i) = f(i) + \sigma \cdot e(i), i = 0, \dots, n-1$$

其中: $f(i)$ 为真实信号; $e(i)$ 为噪声信号; $s(i)$ 为含噪声的信号.

在这里,以一个最简单的噪声模型加以说明,即认为 $e(i)$ 为高斯白噪声满足 $N(0,1)$, 噪声级 (noise level) 为 1. 在实际工程中,有用信号通常表现为低频信号或是一些比较平稳的信号,而噪声信号通常表现为高频信号,所以降噪的过程可按如下方法进行处理:首先对信号进行小波分

解,如进行三层分解,分解过程如图 1 所示.

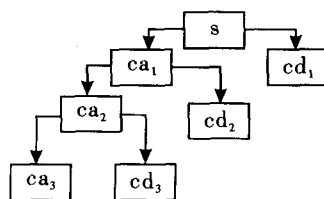


图1 三层小波分解示意图

一般说来,一维信号的小波阈值降噪过程可以分为3个步骤:

- 1) 一维信号的小波分解. 选择一个小波并确定一个小波分解层数 N , 然后对 $s(i)$ 信号进行 N 层小波分解.
- 2) 小波分解高频系数的阈值量化. 从第 1 层到第 N 层的每一层高频系数选择一个阈值进行阈值量化处理.
- 3) 一维小波的重构. 根据小波分解的第 N 层的低频系数和经过量化处理后的第 1 层到第 N 层的高频系数, 进行一维信号的小波重构. 可以用图 2 表示.

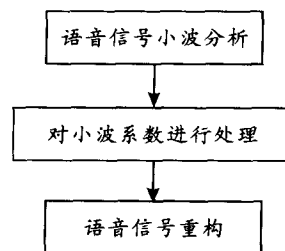


图2 小波去噪过程

* 收稿日期:2008-04-03

作者简介:李荣祥(1983—),男(满),河北沧州人,硕士研究生,主要从事声音定向技术研究.

在这3个步骤中,步骤1)和3)分别是小波分解与重构过程,已有现成的算法,因此小波阈值降噪方法的核心是步骤2),即如何选取阈值和进行阈值的量化,从某种程度上说,它直接关系到信号消噪的质量^[2].

2 传统的小波降噪阈值化方法

语音通信过程不可避免地会受到各种噪声的干扰,噪声降低了语音的信噪比和可懂度.小波变换具有多尺度的特性,可以由粗及细的逐步观察信号.语音信号去噪的目的就是从带噪语音信号中去掉语音信号中所含有的噪音成分,从而得到比较纯净的语音信号.首先对带噪语音信号进行小波变换,得到各尺度的小波系数.然后对得到的小波系数进行噪声估计.进行噪声估计的方法比较多,可以针对每一层分解得到的小波系数进行噪声估计,也可以只是对近似部分的系数进行估计,还可以针对所有得到的系数进行估计.阈值的选取方法可以是“硬阈值”,也可以是“软阈值”.因为小波变换具有和人耳相似的频率特性,所以利用小波变换进行去噪可以达到比较理想的效果.使用小波变换进行去噪的关键在于阈值的选取,如果阈值选得过高,会使信号丢失过多的细节,使信号失真;如果阈值选得过低,则不能达到去噪的目的^[3].

2.1 硬阈值消噪处理

通常硬阈值函数的表达式为:

$$\hat{\omega}_{j,k} = \begin{cases} \omega_{j,k} & |\omega_{j,k}| \geq \lambda \\ 0 & |\omega_{j,k}| < \lambda \end{cases}$$

其中: $\hat{\omega}_{j,k}$ 为估计小波系数; $\omega_{j,k}$ 为小波分解系数; $\lambda = \sigma \sqrt{2 \ln N}$; N 为输入信号寻列长度; σ 为噪声标准差.表达式的含义是把信号的小波系数的绝对值和阈值进行比较,小于或等于阈值的点变为0,大于阈值的点保持不变.如图3所示.

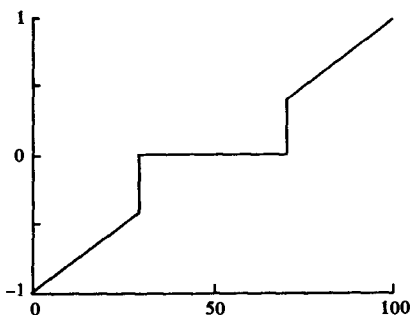


图3 硬阈值函数

2.2 软阈值消噪处理

通常软阈值函数的表达式为:

$$\hat{\omega}_{j,k} = \begin{cases} \text{sgn}(\omega_{j,k}) (|\omega_{j,k}| - \lambda) & |\omega_{j,k}| \geq \lambda \\ 0 & |\omega_{j,k}| < \lambda \end{cases}$$

其含义为把信号的小波系数的绝对值和阈值进行比较,小于或等于阈值的点变为0,大于阈值的点变为该点值与阈值的差值,并保持符号不变.如图4所示^[4].

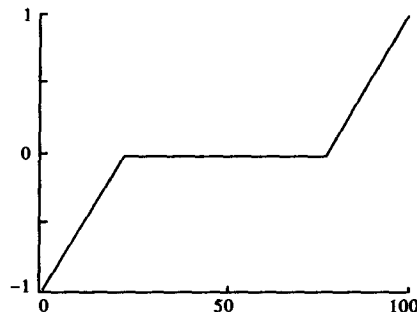


图4 软阈值函数

3 改进后的阈值函数的消噪处理

由以上分析可以看出,在图3所示的软阈值方法中,虽然 $\hat{\omega}_{j,k}$ 整体上连续性较好,但当 $|\omega_{j,k}| \geq \lambda$ 时, $\hat{\omega}_{j,k}$ 和 $\omega_{j,k}$ 总存在着恒定的偏差,它的导数是不连续的,在求高阶导时存在困难,直接影响着重构信号与真实信号的逼近程度,在如图4所示的硬阈值方法中, $\hat{\omega}_{j,k}$ 在 λ 处是不连续的,利用 $\hat{\omega}_{j,k}$ 重构所得的信号可能会产生一些振荡.因此单一的采用硬阈值或者是软阈值法对语音信号的去噪不会很理想,因此本研究提出了一种改进的阈值函数^[5]:

$$f(x) = \begin{cases} x - t + \frac{2t}{1 + e^{\frac{2x}{t}}} & |x| \geq \lambda \\ 0 & |x| < \lambda \end{cases}$$

对于函数 $f(x) = x - t + \frac{2t}{1 + e^{\frac{2x}{t}}}$, 有

$$f(x) = \begin{cases} x - t & x = +\infty \\ 0 & x = 0 \\ x + t & x = -\infty \end{cases}$$

因此它与软阈值函数的趋势相等,又因 $f(-x) = -x - t + \frac{2t}{1 + e^{-\frac{2x}{t}}} = -(x - t + \frac{2t}{1 + e^{\frac{2x}{t}}}) = -f(x)$ 为奇函数,我们讨

论当 $x \in (0, +\infty)$ 时 $f'(x) = 1 - \frac{4}{\frac{1}{2x} + 1} = 1 - \frac{4}{\frac{1}{2x} + 1}$

$\frac{2}{(\frac{1}{2x} + e^{\frac{x}{t}})^2} \geq 0$, $f(x)$ 为增函数,因此我们可以描绘它的

曲线.如图5.

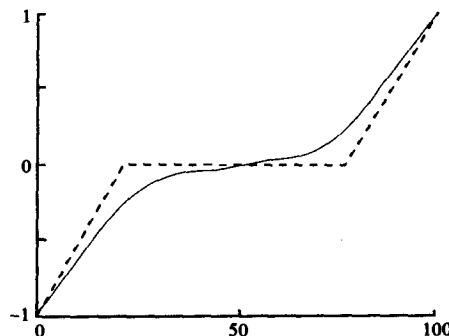


图5 改进后的阈值函数

其中虚线为软阈值函数,实线为改进的阈值函数,可以从图5中看出改进的阈值函数有无穷阶导数,克服了软阈值函数的缺点。

4 仿真实验结果及分析

本研究截取了一段语音录音,采样频率为44 kHz.采用了db1小波对信号三层分解,分别用硬阈值法、软阈值法和新的阈值法对信号进行了消噪处理,如图6所示。

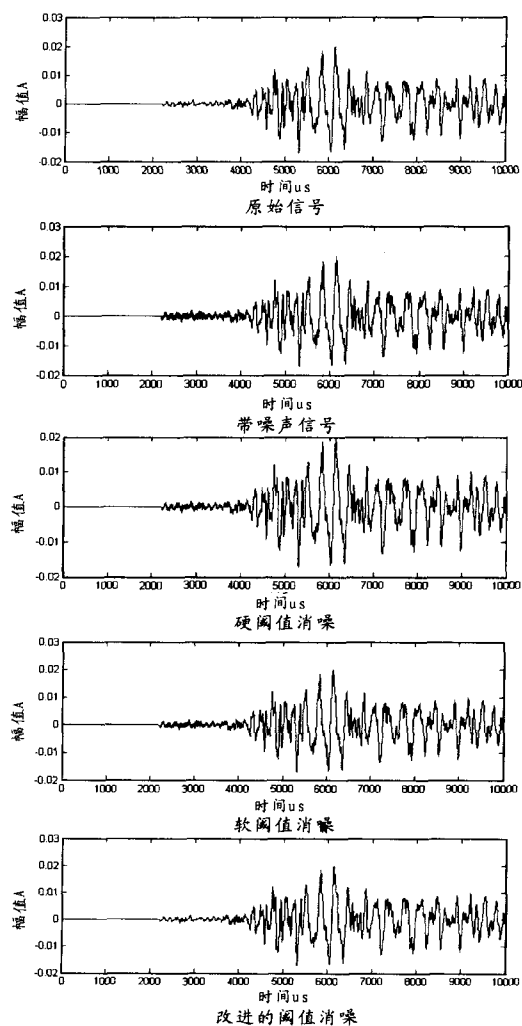


图6 进行了消噪处理的信号

由于硬阈值函数的不连续性,使得去噪后的波形显得生硬,边缘及尖峰效果不是很好,处理的信号产生震荡。而

由于软阈值函数中估计的小波系数与信号的小波信号间存在恒定偏差及一些其他因素,也使得信号的边缘和尖峰刻划得不够细致,但总的来说,效果比硬阈值函数略好。采用改进阈值函数的去噪效果,可以看出,由于改进的阈值函数不仅具有连续性,而且在阈值范围附近能够平滑地过渡,更好地保留信号的局部特征,效果也比较好。

另外3种方法的信噪比(SNR)及均方误差(MSE)如表1所示。

表1 性能参数对比

	SNR	MSE
原始信号	12.123	0.998 3
硬阈值法	28.474	0.355 3
软阈值法	28.578	0.311 5
新阈值法	28.742	0.308 1

可以看出新的阈值方法提高了语音信号的信噪比,并且降低了均方误差,提高了信号的滤波效果和降噪质量,在性能上要比传统的阈值方法优越。

5 结束语

介绍了小波降噪的一般原理和实现步骤,讨论了传统小波阈值方法的不足,并在此基础上提出了一种新的基于小波语音分析阈值方法,从仿真的结果以及其他性能指标上可以看出,改进的阈值方法较传统的方法无论是在视觉上还是在性能指标上都有较好的优越性,对语音信号的处理具有一定的应用价值,进而对声音信号的分析 and 处理都有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 胡航. 语音信号处理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002.
- [2] 胡昌华, 李国华, 刘涛, 等. 基于MATLAB6.X的系统分析与设计—小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [3] 李硕, 李冰洋, 王蜜. 小波变换及其在语音信号处理中的应用[J]. 哈尔滨师范大学学报: 自然科学版, 2006, 22(4): 21-23.
- [4] 赵婷婷, 苑惠娟, 邹纯宏. 基于小波分析的自适应阈值改进算法[J]. 传感器世界, 2007, 4: 21-23.
- [5] 张建良. 基于小波变换的语音信号的噪声处理研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2007: 38-39.