

文章编号: 1005-8451 (2010) 07-0008-03

## 基于软硬阈值折中的小波包语音增强算法的研究

王 芳, 刘祖润, 吴海辉

(湖南科技大学 信息与电气工程学院, 湘潭 411201)

**摘 要:** 由于语音信号的非平稳性, 传统去噪方法将会不可避免地造成有用语音信号的损失, 小波包分析能同时对信号的低频部分和高频部分进行分解, 与小波分析相比, 对信号的分析能力更强。文中提出一种新的去噪方法, 它对噪声的清除更加干净, 仿真结果表明, 这种方法优于软、硬阈值法。

**关键词:** 小波包变换; 语音消噪; 语音增强; 阈值函数

**中图分类号:** TN911.72 **文献标识码:** A

### Speech enhancement algorithm based on compromise for soft and hard thresholds

WANG Fang, LIU Zu-run, WU Hai-hui

(School of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** Due to the non-stationarity of speech signals, traditional method of de-noising would inevitably cause the loss of the useful speech signal. By using wavelet packet the speech signal could be decomposed into the low frequency part and the high frequency part, compared with wavelet analysis, the analytical capacity of the signal was stronger. A new de-noising method was proposed, which could de-noise the speech signal more completely. Simulation results showed that this method was superior to the soft and hard threshold method.

**Key words:** wavelet packet transform; speech de-noise; speech enhancement; threshold function

语音信号是一种比较典型的非平稳信号, 语音去噪是信号处理领域中一个重要的组成部分<sup>[1]</sup>。传统的傅立叶分析使用的是一种全局变换, 适合处理平稳信号。小波变换是近年来发展起来的新的去噪方法, 它可以同时进行时域和频域分析, 具有很多傅立叶变换无法比拟的性质, 小波包分析是从小波分析延伸出来的一种对信号进行更加细致的分析和重构的方法, 它不但对低频部分进行分解, 而且对高频部分也做了二次分解, 对信号的分析能力更强, 本文选用小波包分析进行语音分解<sup>[2]</sup>。

传统的阈值去噪方法有硬阈值法和软阈值法, 但是这两种方法都各有不足, 本文采用一种软硬阈值折中的方法, 该方法充分发挥小波包阈值去噪, 具有较高的应用价值<sup>[3]</sup>。

### 1 小波包去噪原理

小波变换是用小波函数和待分析的信号做内积, 这样就把原始信号分为高频部分和低频部分,

再一次用小波分解时, 又把低频部分分为两个同样宽的频带, 依次类推。而小波包分解是在小波分解的基础上对高频段进行分解, 从而提高了高频段频率分辨率, 能获得更好的频率局部化。

小波包变化的 Mallat 算法如下: 设正交小波基的滤波器系数分别为  $h(n)$  和  $g(n)$ , 将尺度函数  $F(t)$  改为  $w_0(t)$ , 小波函数  $Y(t)$  改为  $w_1(t)$ , 得尺度函数  $F(t)$  和小波函数  $Y(t)$  的双尺度方程为:

$$w_0(t) = \sqrt{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n) w_0(2t-n) \quad (1)$$

$$w_1(t) = \sqrt{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(n) w_1(2t-n) \quad (2)$$

设  $H(w)$  和  $G(w)$  分别为滤波器  $h(n)$  和  $g(n)$  的傅立叶变换, 则双尺度方程的傅立叶变换为:

$$W_0(w) = H(w) W_0(w/2) \quad (3)$$

$$W_1(w) = G(w) W_1(w/2) \quad (4)$$

小波包  $\{w_i(t)\}$  定义为包括尺度函数  $w_0(t)=F(t)$  和小波函数  $w_1(t)=Y(t)$  在内的一个具有一定联系的小波函数集合。

### 2 基于小波包变换的语音增强算法

对于一个预处理信号  $x(t)$ , 设其中含有真正

收稿日期: 2009-09-24

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60673119); 湖南省科技计划项目 (2006GK3071)

作者简介: 王 芳, 在读硕士研究生; 刘祖润, 教授。

的信号  $s(t)$  和噪声  $n(t)$ , 具体模型为

$$X(t)=s(t)+n(t) \quad (5)$$

利用小波包进行语音信号的消噪可按以下步骤进行:

(1) 选择一个小波包函数并确定一个小波包分解的层数  $N$ , 然后对信号进行  $N$  层小波包分解。

(2) 对于每一个给定的熵标准, 计算最佳小波包分解。

(3) 选择一个适当的阈值算法, 对最优小波包基每个节点上的分解系数进行阈值量化。

(4) 只利用阈值量化后的最优小波包基的分解系数逐层向上重构, 重构得到的信号就是经过最优小波包消噪处理后的信号<sup>[4]</sup>。

在上面的步骤中, 最关键的就是对阈值和阈值函数的选取, 它关系到去噪的质量, 下面将介绍阈值和阈值函数的函数选取问题<sup>[5]</sup>。

### 3 阈值及阈值函数的选取

#### 3.1 阈值的选取

阈值采用随分解层数而变化的自适应阈值

$$\lambda_j = \hat{\sigma}_j \sqrt{2 \ln M_N} \frac{j-1}{j}$$

其中:  $\hat{\sigma}_j = MAD_j / 0.6745$ ,  $MAD_j$  为第  $j$  层小波系数的中值;  $M_N$  为第  $j$  层小波系数的长度。

#### 3.2 阈值函数的选取

在小波去噪中, 常用的阈值函数有硬阈值函数和软阈值函数。硬阈值法只保留大于阈值的小波系数并将其他的小波系数置零, 其表达式如下:

$$\hat{w}_{j,k} = \begin{cases} w_{j,k}, & |w_{j,k}| \geq \lambda \\ 0, & |w_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (6)$$

软阈值法将小于阈值的小波系数置零, 并把大于阈值的小波系数向零做收缩, 其表达式如下:

$$\hat{w}_{j,k} = \begin{cases} \text{sgn}(w_{j,k})(|w_{j,k}| - \lambda), & |w_{j,k}| \geq \lambda \\ 0, & |w_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (7)$$

式(7)中,  $\text{sgn}$  为符号函数, 当  $x > 0$  时,  $\text{sgn}x = 1$ ; 当  $x = 0$  时,  $\text{sgn}x = 0$ ; 当  $x < 0$  时,  $\text{sgn}x = -1$ 。硬阈值函数将大于等于阈值的小波系数保持不变, 但小波分解系数  $w_{j,k}$  中就含有噪声系数  $v_{j,k}$ , 它对噪

声消除不够干净; 而软阈值函数中,  $w_{j,k}$  与  $v_{j,k}$  之间总存在恒定的偏差, 这将直接影响重构语音与真实语音的逼近程度, 给重构语音带来不可避免的误差。

#### 3.3 软硬阈值折中的阈值函数

为了克服软硬阈值方法的缺点, 提出了很多其它的改进方案, 软硬阈值折中法就是其中的一种简单有效的方法, 软硬阈值折中法定义如下:

$$\hat{d}_{j,k} = \begin{cases} \text{sgn}(d_{j,k}) \cdot (|d_{j,k}| - \alpha\lambda) & |d_{j,k}| \geq \lambda \\ 0 & |d_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (8)$$

式(8)中,  $0 \leq \alpha \leq 1$ , 当  $\alpha$  分别取 0 和 1 时, 式(8)即为硬阈值法和软阈值法。适当地调整  $\alpha$  值, 可以达到不同的去噪效果, 这种方法可以看作是软硬阈值折中方案。

### 4 实验仿真

在安静的环境下采集一段自然连续语音作为原始语音样本, 噪声为加性高斯白噪声, 信噪比为 35, 采用去噪效果好且常用的 db4 小波函数进行 4 层小波包分解; 选用 shannon 熵原则得出最佳小波包树, 阈值为随分解层数变化的自适应阈值。用 Matlab 编写程序<sup>[6]</sup>。图 1~图 5 分别为信噪比为 35 dB 时的原始语音信号, 加噪语音信号, 以及采用软、硬阈值方法和本文方法分别去噪后的语音信号的时序图。

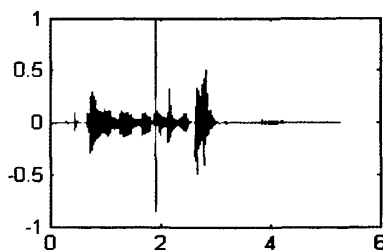


图1 原始语音信号

从图中可以看出本文的软硬阈值折中法得到的去噪后的图像比硬阈值法和软阈值法得到的去噪图像要光滑, 而软阈值法得到的图像又比硬阈值去噪法得到的图像光滑。经过试听表明, 本文的方法更接近原声。

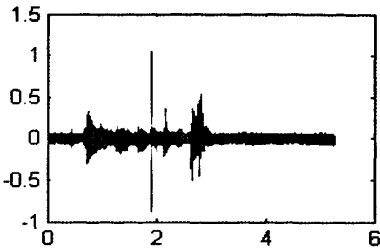


图2 加噪语音信号

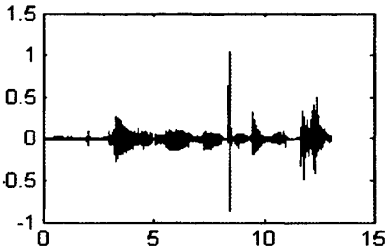


图3 软阈值去噪后的语音信号

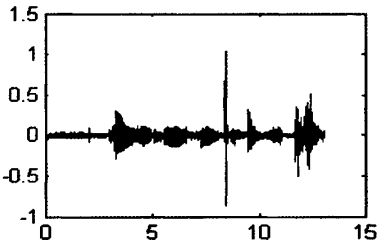


图4 硬阈值去噪后的语音信号

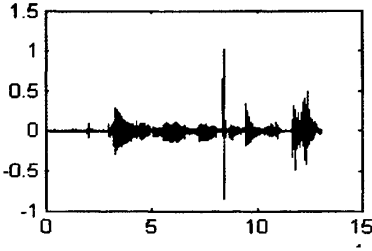


图5 本文方法去噪后的语音信号

为了进一步评价本文方法的性能，引入信噪比（SNR）的评价指标<sup>[7]</sup>。

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{L} \sum_{n=1}^L x^2(n)}{\frac{1}{L} \sum_{n=1}^L [x(n) - \hat{x}(n)]^2} \quad (9)$$

式（9）中， $x(n)$ 为原始信号， $\hat{x}(n)$ 为小波去

噪后的估计信号， $L$ 为信号总采样点数。不同阈值函数去噪后的信噪比见表1。

表1 不同阈值函数去噪后的信噪比

| 去噪方法     | 信噪比（dB）  |
|----------|----------|
| 软阈值算法    | 15.836 9 |
| 硬阈值算法    | 22.521 9 |
| 软硬阈值折中算法 | 23.420 8 |

从表1可以看出，硬阈值算法和软硬阈值折中算法处理后的信噪比都比软阈值的信噪比高，很好地保留原始信号的特征。

5 结束语

小波分析是一种窗口大小（即窗口面积）固定但其形状可变的时频局部化分析方法，即在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率，在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率。但在实际应用中，往往希望提高高频部分的频率分辨率。小波包分析克服了小波分析中高频部分频率分辨率低的缺点，可以对信号在全频带范围内进行正交分解，在刻画信号特征方面具有更强的自适应性。本文采用小波包软硬阈值折中的方法，既兼顾了软、硬阈值函数的优点，同时又在一定程度上弥补了这两种方法的缺陷。从仿真结果来看，本方法的去噪效果优于传统的软、硬阈值方法。

参考文献：

[1] 韩纪庆，张 磊，郑铁然. 语音信号处理[M]. 北京：清华大学出版社，2004：72.

[2] 段其昌，邓玉娟，应泽贵. 基于改进阈值函数的小波包语音增强算法的研究[J]. 通信技术，2009，42（5）：86-88.

[3] Donlho D L. De-noising by soft-thresholding[J]. IEEE Trans. On Information Theory, 1995, 41(3): 613-627.

[4] CHANG S, KWON Y, YANG S. Speech enhancement for non-stationary noise environment by adaptive wavelet packet [C]. USA: IEEE PRESS, 2002(5): 61-564.

[5] 李 杰，丁宣浩. 一种改进的小波阈值消噪方法[J]. 广西工学院学报，2006，17（2）：33-36.

[6] 胡昌华，李国华，周 涛. 基于MATLAB 7.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，2008.

[7] 洪晓芬. 自适应软门限选择和信号消噪方法研究[J]. 计算机应用与软件，2008，25（10）：156-157.