

鼾音信号奇异点检测的小波变换分析方法

张引红, 吴胜举

ZHANG Yin-hong, WU Sheng-ju

陕西师范大学 物理学与信息技术学院, 西安 710062

College of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

E-mail: zhangyh@snnu.edu.cn

ZHANG Yin-hong, WU Sheng-ju. Method of wavelet transform in checking aberrant signal of snore. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(5): 232-234.

Abstract: A new way to signal of snore is discussed in this paper, which using wavelet singularity detection based on MATLAB simulation analysis, and it not only shows the simulation result of analyzing the character of different frequency snoring signal, but also checks signal singularity, and points out its position and Lipschitz index. This fact demonstrates that the method may offer the important message of analyzing singularity signal or diagnose of medical treatment.

Key words: wavelet transformation; snore; signal singularity; wavelet singularity detection; spectrum analysis

摘要: 针对鼾音信号的特点, 提出一种利用小波奇性检测原理的方法, 以 MATLAB 仿真为基础, 不但给出分析鼾音信号不同频段特征的仿真结果, 又对信号奇异性进行了检测, 确定了奇异性的位置和奇异性指标。结果表明, 该方法给分析异常鼾音信号或医疗诊断提供了非常有价值的信息。

关键词: 小波变换; 鼾音; 信号奇异; 小波奇性检测; 频谱分析

文章编号: 1002-8331(2008)05-0232-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

鼾音是上呼吸道阻塞的重要体征^[1], 是典型的非平稳信号, 鼾音与阻塞性睡眠呼吸暂停有密切的关系。在一个呼吸周期内, 鼾音信号在幅度、频率成分两方面有较大变化, 因此, 针对鼾音信号的特点, 研究其时变谱显得尤为重要。1986年Cohen, Lieberman等人应用最大熵谱估计方法与LPC模型方法对鼾音信号进行了谱分析, 获得了鼾音信号的功率谱^[2]。对鼾音信号采取时域波形分析与功率谱分析, 而谱特征量是描述信号的重要参数。近年发展起来的小波分析方法具有良好的时-频特性, 小波变换系数是时间和频率的二元函数, 它能同时从时域和频域对信号进行分析, 弥补了Fourier分析在奇异信号分析和处理中的不足。小波变换能够把信号分解到一系列在对数意义上具有相同带宽的频率通道。因此, 它能表示各种不同频率分量的信号, 特别是含有丰富的病变信息的鼾音奇异信号。利用信号与突变的奇异信号的小波系数幅值大小以及在小波域中的分布不同。同时利用信号与突变的奇异信号的小波模极大值随尺度的变化快慢不同, 得到突变的奇异信号在小波域中的位置以及小波系数大小, 从而达到检测奇异信号的目的。

本文利用小波奇性检测原理, 提取鼾音奇异信号的奇异点位置, 分析了信号和噪声在小波变换下的局部极大值特性, 据此分析出信号和噪声的局部极大值, 在保留信号局部极大值时结合小波频域滤波对奇异信号进行时-频二维滤波。这样既有效地滤除了噪声, 又保留了信号的奇异信息。为及时准确地诊

断出因呼吸道阻塞而引起的鼾音病变信息提供了依据。

1 小波奇性检测原理

一个能量有限信号 $f(t)$ ($f(t) \in L^2(R)$) 的连续小波变换定

义为^[3] $W_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_R f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$, $b \in R$, $a \in R_{-}\{0\}$, 其

中 $\varphi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 被称为连续小波或分析小波, 它是由

基小波 $\varphi(t)$ 通过伸缩和平移所产生的函数族, a 为尺度因子, b 为平移因子。设 $\varphi(t) \in L^2(R)$, 当满足容许性条件 $C_\varphi =$

$\int_R \frac{|\varphi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty$, 若 $f(t)$ 在 t 处连续, 则 $f(t)$ 可重构为 $f(t) =$

$\frac{1}{C_\varphi} \int_R \int_{R^+} W_f(a, b) \varphi_{a,b}(t) \frac{da}{a^2} db$ 。若函数 $f(x)$, $[f(x) \in R]$ 无限次可

导的函数是光滑的或没有奇异性。若函数在某处有间断或某阶导数不连续, 则称该函数在此处有奇异性。当信号存在某一位置或某一时刻发生突变时, 该信号的小波变换在一定的尺度范围内均会在信号突变处出现峰值, 并且呈现出与噪声截然不同的特性: 有效信号突变点所对应的小波变换模极大值具有沿尺度传递的特性; 而随机噪声信号的小波变换模极大值将随着尺

度的增加而迅速衰减。奇异检测就是要将信号的奇异点识别出来并判断其奇异性程度^[4]。设 $\theta(x)$ 为满足下述条件的光滑函数: 取 $\varphi(x) = \frac{d\theta(x)}{dx}$ 且 $\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) dx = 0$, 则 $\varphi(x)$ 为一小波母函数。

取 $\theta(x)$ 为三次 B 样条函数。所以 $W_f(x) = f * \varphi_s(x) = f * (s \frac{d\theta_s}{dx})(x) = s \cdot \frac{d}{dx} (f * \theta_s)(x)$, 其中 $f * \theta_s$ 可以看作 $f(x)$ 被 $\theta(x)$ 按尺度 s 进行光滑化的结果。当 s 很小时, 用 θ_s 对 f 光滑化的结果对 $f(x)$ 的突变部分的位置与形态的影响不大。而当 s 较大时, 此光滑过程会将 $f(x)$ 的一些细小的突变消去而只剩下大尺度的突变。由小波变换 $Wf(x)$ 的定义可知, $|Wf(x)|$ 的极大值点反映了 $f * \theta_s(x)$ 奇异点的位置。因此通过 $|Wf(x)|$ 的极大值点就可以找到 $f(x)$ 在不同分辨率下的奇异点。

2 鼾音信号奇异点检测

2.1 鼾音信号的特点

信号中的奇异点及不规则的突变部分经常带有比较重要的信息, 它是信号重要的特征之一。在实际中, 非平稳信号的频率是随时间变化的, 这种变化可以分为慢变化(对应信号的低频部分)和快变化(对应信号的高频部分)两部分, 信号的能量主要集中在低频部分; 而高频部分的能量较小。用 MATLAB 7.0 语言编写程序, 绘出模拟鼾音信号^[5]的原始信号及它对应的小波变换后的各子带信号(如图 1 所示)。

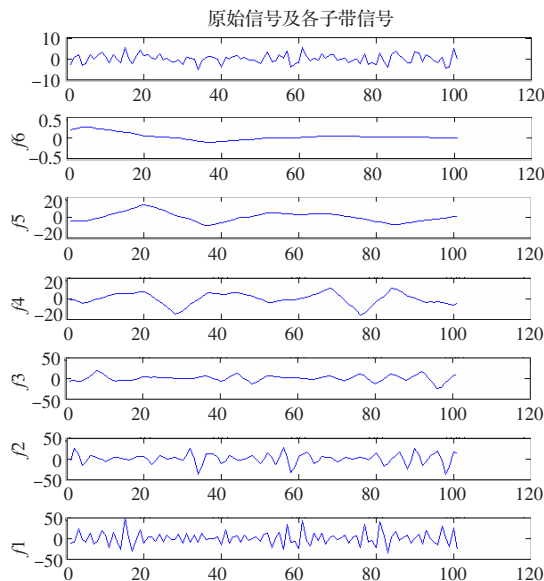


图1 鼾音信号的小波分析

图 1 反映了在时域内各子带信号的实时图形, 在某一段时间内它们是连续变化的。但是鼾音信号是典型的非平稳信号, 是由许多不同的频率组成的复杂信号。再对其进行频域分析, 得到它们对应的频谱图(如图 2 所示)。

2.2 小波函数的选取

利用小波变换对信号奇异性进行检测, 一方面是对奇异点的位置确定, 另一方面是确定奇异点奇异性的指标, 应选用合适的小波函数和尺度^[6]。如果尺度参数选择太小, 则受噪声的影响比较大; 如果尺度参数选择过大, 则信号突变点所对应的小波变换的模极大值的幅度衰减得比较厉害, 这将使信号的突变特征不明显甚至消失。为了准确地检测到突变信号奇异点, 所选择的小波必须很正则, 这时的小波可实现一个更长的冲击响

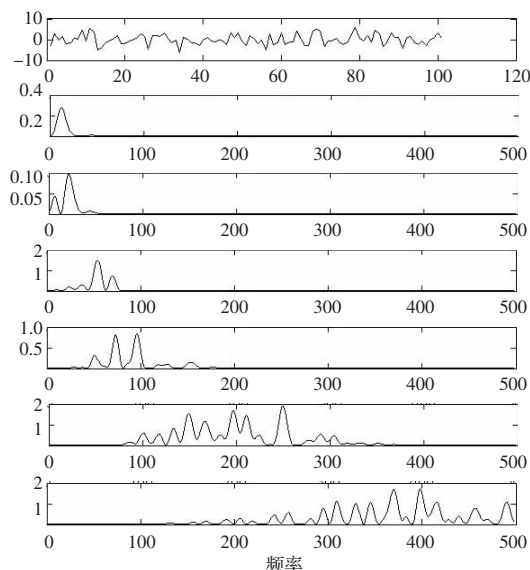


图2 各子带信号频谱图

应滤波器^[7]。

根据采集到的鼾音信号频率分布的特点, 假设选其某一区域的鼾音信号, 在对其进行小波分析时应选择 Daubechies 构造的具有紧支集的正交小波基 db1, 如图 3 所示。

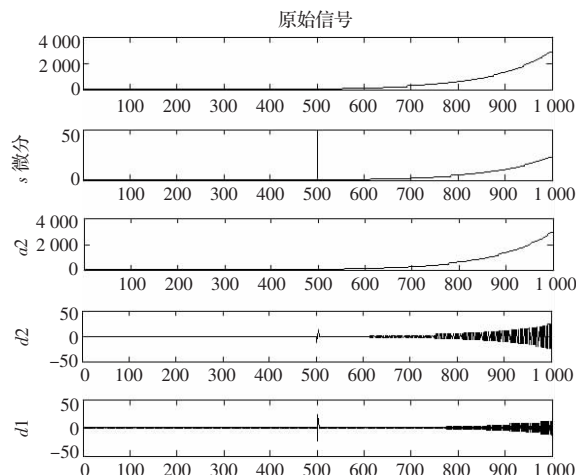


图3 小波 db1 分析某一区域鼾音信号的突变点

可以看到, 该信号在外观上是很光滑的曲线, 但是, 该信号具有一阶微分且突变。该信号的一阶微分曲线在 $t=500$ 点处有明显的 discontinuity。将该信号进行小波分解后, 第一层的高频部分 $d1$ 将信号的不连续点显示的相当明显, 这个断裂点在信号的中部发生, 在其他地方可以忽略。由上图可以看出, 利用小波分析进行信号的不连续点的定位非常精确。像这种间断点的定位, 一般来说, 是在小波分解的第一层和第二层高频部分进行判断的。

如果选择 db4, 如图 4 所示, 会出现在 $t=500$ 点处, 高频部分的值几乎为 0, 检测不出信号的不连续点。这是因为 db4 不及 db1 的正规性好的缘故。

3 奇异点和奇异性指数

从数学角度看, 函数的突变点可以用它的可微性来表示, 信号在突变点处是不可微的。同时, 对无限次可导的函数则称

它没有奇异性。但是,这种量度在实用中往往过于粗糙,所以数学上采用 Lipschitz 指数来描述某点的奇异性,简称 Lip 指数。Lip 指数是刻画奇异性大小的量。利用小波奇异性检测鼾音奇异信号^[8]如图 5 所示。

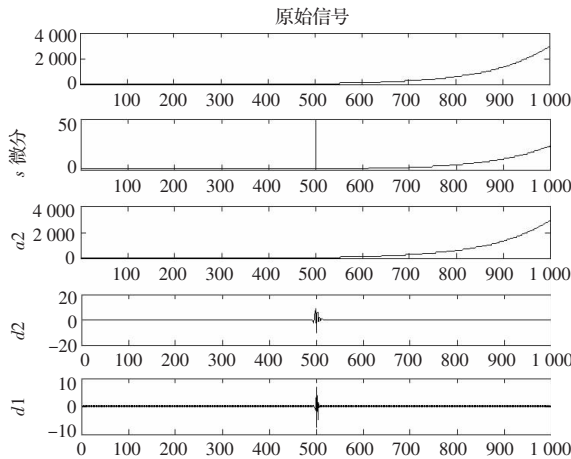


图4 小波 db4 分析鼾音信号的间断点

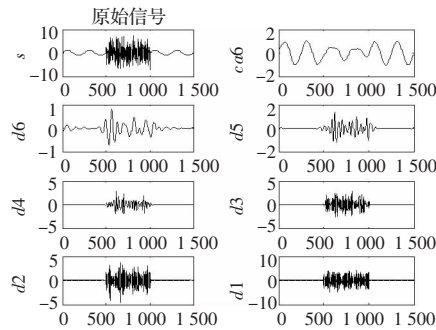


图5 小波奇异性检测原理检测出的奇异信号

从图 5 中信号的频谱曲线上,可以清楚观察到鼾音信号各个时段子带信号的时频特征,也可以看到鼾音病变信号的突变信息。一个病变的鼾音信号在其频谱上必然有间断点,是不连续的。检测和识别信号的突变点并用奇异性指数 Lipschitz 来刻画它就是信号的奇异性检测理论。

4 结果讨论

函数的奇异点可从小波变换的模极大值检测出来。小波变换的模极大值都是出现在信号有突变的地方。信号的突变越

大,其小波变换的模极大值就越大,其数值可通过小波变换模极大值在不同尺度的数值计算出来。而信号的突变点,一定是信号的奇异点,即可能的故障点。当函数的小波变换在一个尺度下无极大值时,它在此区域内不存在能被所用小波基检测出来的奇异性。从而可以由对模极大值点的确定来判断是否存在信号中存在奇异性,以达到检测的目的。噪声的 Lipschitz 常数是负数,其对应的小波模极大值将随着尺度的增加而减小。这说明对带噪声的信号进行小波变换。在小波较高分解层中噪声的小波系数较小,可以忽略。若出现异常信号,波形中就会检测出异常信号的信息,利用简单的时频域判别法,就可以很快准确地判断出奇异性信号发生的时刻及频段,对异常鼾音信号的作出正确的分析,有助于及时了解呼吸道的阻塞程度,给医学诊断提供准确的信息。实验结果表明,在对鼾音信号奇异点进行检测和分析方面,小波变换具有明显的优点,小波变换能方便而有效地检测出信号的突变成分。由于生物医学信号中包含大量的不同频率成分的瞬态信息^[9],小波变换在生物医学信号处理中将具有更广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Lenclud C, Cuttitta G, Van Gansbeke D, et al. Thorax, 1996, 51(7): 694-698.
- [2] Purohit A, Bohadana A, Kopferschmitt-Kubler MC et al. Respir Med, 1997, 91: 151-157.
- [3] 胡昌华. 基于 MATLAB 6.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: 225-237.
- [4] Sendur L, Selesnick I W. Bivariate shrinkage functions for wavelet-based denoising exploiting interscale dependency[J]. IEEE Trans Signal Processing, 2002, 50(11): 2744-2756.
- [5] 张引红, 吴胜举. 小波变换在鼾音信号分析中的应用研究[J]. 信号处理, 2007, 23(3): 448-451.
- [6] Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation[J]. IEEE Trans Pattern Anal and Machine Intell, 1989, 11(7): 647-693.
- [7] Kingsbury N G. Complex wavelets for shift invariant analysis and filtering of signals [J]. Applied and Computational Harmonic Analysis, 2002, 10(3): 234-253.
- [8] 史习智. 信号处理与软计算[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 225-237.
- [9] 杨福生, 高上凯. 生物医学信号处理[M]. 高等教育出版社, 1989: 564-588.

(上接198页)

由图 3、4 比较可知,改进后的算法得出的基音轨迹比传统倒谱算法有明显改进,在基音周期估计的准确性和抗噪能力方面比传统的倒谱法都有明显提高。

4 结束语

论文提出了一种有效的噪声环境下基音检测算法:先用谱减法对带噪声语音去噪,然后再求语音 LPC 预测残差的自相关函数及自相关函数的倒谱。

仿真结果表明,利用这种改进算法做基音周期检测,检测效果会比传统倒谱检测方法有明显改善。

参考文献:

- [1] 王翠兰, 李萍. 基于 LPC 预测残差的倒谱基音检测算法分析[J]. 南阳师范学院院报: 自然科学版, 2004, 3(9): 26-29.
- [2] 柏静, 韦岗. 一种基于线性预测与自相关函数法的语音基音周期检测新算法[D]. 广州: 华南理工大学, 2005.
- [3] 赵力. 语音信号处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 23-24.
- [4] 刘晓辉, 周祎, 郑明, 等. 语音增强系统中宽带噪声的滤除[J]. 西安交通大学学报, 1998, 32(12): 11-16.
- [5] Ahmadi S, Spanias A S. Cepstrum-based pitch detection using a new statistical V/UV classification algorithm[J]. IEEE Transactions on Speech And Processing, 1999, 7(3): 333-338.
- [6] 胡瑛, 陈宁, 夏旭. 一种改进的自相关基音检测算法[J]. 电子科技, 2007(2): 25-28.