

利用小波包变换实现噪声环境下特征信号的提取

薛蕙, 杨仁刚

(中国农业大学电气信息学院, 北京 100083)

摘要: 电力系统暂态或故障时,电压电流信号包含了故障的信息,文中称包含了故障或暂态信息的电压和电流信号为特征信号,利用特征信号可以进行系统分析和故障检测,但是特征信号往往被淹没在大量的噪声信号中,这样给电力系统分析和检测带来困难。文中分析了电力系统中几种常见的噪声和特征信号的时频特性,简单介绍了小波包变换的理论和特点,分析了利用小波包变换来消除噪声,提取特征信号的理论,并通过实例验证了小波包良好的抗噪能力,为实现噪声环境下特征信号的提取提供了良好的分析方法,为电力系统分析和故障检测提供了良好的工具。

关键词: 小波包变换; 特征信号; 频带划分

中图分类号: TM74 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)07-0007-04

1 引言

电力系统各种故障和暂态的出现往往伴随着系统中电压和电流的突变,这些发生了突变的电压和电流信号包含了故障或暂态的特征,本文把这种包含了故障或暂态特征的电压和电流信号称为特征信号。这些特征信号是实现故障检测和系统分析的关键,但是电力系统中存在着严重的噪声,这些特征信号往往被淹没在大量的噪声信号中,在噪声环境中及时准确地提取各种特征信号,就成为电力系统故障检测和分析的关键。小波变换具有良好的时频局部化特性,能够同时提取信号的时频特性,由于噪声信号和特征信号往往具有不同的时频特性。利用小波变换可以实现噪声与特征信号的理想分离,从而在噪声的环境中提取特征信号,已经有不少的文献把小波变换用于噪声环境中电气量的检测和分析^[1~4],但是把小波包用于噪声环境中的特征信号检测和分析的文献不多。小波包变换建立在小波变换的基础上,理论上可以实现频带的均匀划分,具有比小波变换更好的时频特性,本文就小波包对于噪声和特征信号不同的分解特性分析了利用小波包除噪的原理。通过实验验证,小波包变换对于噪声的消除和特征信号的提取具有良好的特性,是噪声环境中提取特征信号的良好方法。

2 噪声和特征信号的时频特性

噪声信号往往与包含有故障信息的特征信号具有不同的时频特性,对常见的两种噪声信号白噪声和有色噪声进行分析:白噪声具有在时域和频域随

机分布的特性,图1是白噪声的时频分布特性。而有色噪声主要为高次谐波信号,其能量主要集中在高频频带中,图2是有色噪声的时频特性。

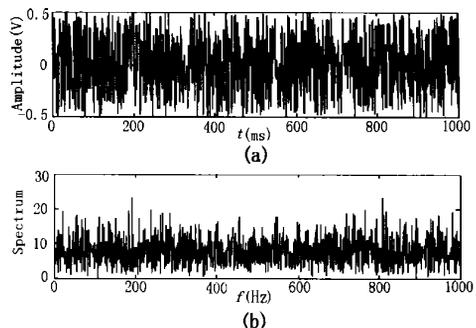


图1 白噪声的时频分布

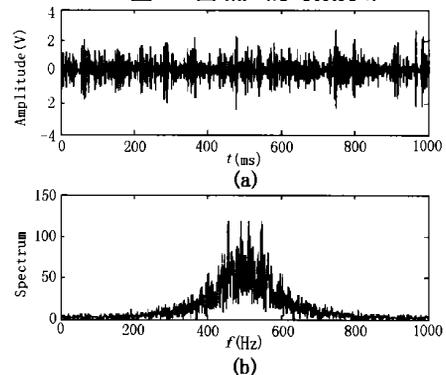


图2 有色噪声的时频特性

而伴随着故障发生时的特征信号往往可以分为以下的几种情况:电压或电流幅值的突变,谐波的出现,频率的偏移,或者几种情况的同时出现。实现这些特征信号准确检测是实现故障检测和分析的基础,这些特征信号的能量往往主要集中在几个频率段中,或者是集中在时频平面中对应时域的某个固

定点处,利用噪声和特征信号不同的时频特性,可以实现特征信号与噪声的分离,从而实现噪声环境下特征信号的提取。小波包变换具有良好的时频局部化特性,可以同时提取信号的时频特性,并可以实现频带的均匀划分,因此理论上可以用来实现噪声环境下特征信号的提取。

3 小波包理论简介^[5,6]

首先简单介绍一些小波包理论的基础知识,小波包是建立在小波变换的基础上的。

3.1 小波变换(WT)

信号 $x(t)$ 的连续小波变换定义为:

$$CWT(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_{a,b}^*(t) dt$$

$\psi^*(t)$ 是 $\psi(t)$ 的复共扼函数, $\psi(t)$ 是具有良好的时频局部化特性的函数。取 $a = 2^m$, $b = 2^n$, 则得到二进离散小波变换的定义:

$$DWT(m, n) = \{ x(k) \psi_{n2^m}^*[(k - n2^m)/2^m] \}$$

这个公式相当于信号 $x(t)$ 通过了一个传递函数为 $\psi(t)$ 的有限冲击带通滤波器(FIR),选择不同的 m 值,相当于信号通过了不同的带通滤波器,这样就可以把不同频带的信号分离开来。

3.2 小波包变换^[4,5]

小波包变换建立在小波变换的基础上,其定义为:

$$2_n(t) = 2 \sum_{k=0}^{2N-1} h_0(k) \psi_n(2t - k)$$

$$2_{n+1}(t) = 2 \sum_{k=0}^{2N-1} h_1(k) \psi_n(2t - k)$$

公式中的 h_0 和 h_1 相当于长度为 $2N$ 的低通和高通滤波器。通过滤波器可以把低频信号和高频信号分开,从而实现频带的划分。

由上述分析中可以得到:小波变换和小波包变换都可以通过滤波器电路来实现频带的划分,不同的是通过二进离散小波变换可以实现频带的二进划分,而小波包可以实现频带的均匀划分,利用小波变换或小波包变换把含有噪声的特征信号分解到不同的频带中,噪声的能量是在整个频带中均匀分布,而故障信号的能量主要集中在几个频带中,或者主要集中在频带中对应时域的某个点处,能量比较集中。因此可以利用设置阈值来实现特征信号和噪声信号的分离:小波包变换后的分量如果小于阈值,则令此分量为 0,如果分量大于阈值,则保留这一分量,然

后重构信号,重构后的信号可以消除大量的噪声能量,而较好地保持了特征信号的波形。

因为小波包变换有比小波变换更好的频带划分特性,能够把特征信号的能量集中到更小更均匀的频带中,从而获得更好的信噪分离效果。因此小波包变换比小波变换具有更好的信噪分离能力。Daubechies 具有紧支撑、正交而且简单的特点,因此本文选用的基本小波是 Daubechies 小波。图 3~7 分别对应噪声和常见的故障时特征信号的 4 级小波包分解,每个图中包含 16 个子图,对应小波包分解树中第 4 级的 16 个节点的小波包分解系数。图 3 和图 4 分析了常见的白噪声和有色噪声,图 5~7 分析了常见的电气量变化的特征信号:表现为电气量幅值的突变,频率的变化,谐波的出现。从图 3~7 中可以清楚地观察噪声和特征信号小波包分解的不同特性。

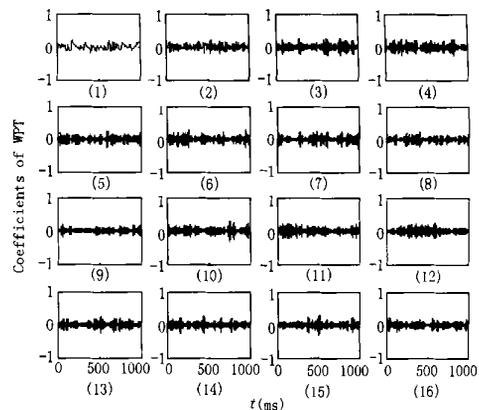


图 3 白噪声的 4 级小波包分解情况

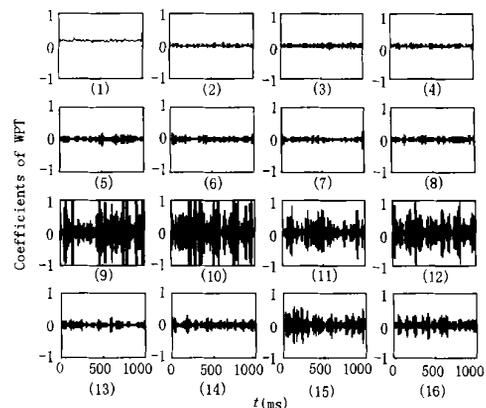


图 4 有色噪声的小波包 4 级分解

4 阈值的设置^[7,8]

综上所述,噪声信号和特征信号因为具有不同的小波包分解特性,可以利用设置阈值来实现特征频带和噪声频带的分离。阈值选取算法主要有以下

几种:使用基于 Stein 无偏风险估计理论的自适应阈值选取算法;选择 $\sqrt{2\ln(\text{length}(X))}$ 作为阈值;综合上述两种方案选择阈值;用极小极大值准则选择阈值。阈值处理的实现算法也有两种:即软阈值和硬阈值。选择阈值时,可以根据噪声和信号的情况人工设定合适的阈值,也可以利用 Matlab 软件中的指令根据输入信号的情况自动选择阈值的设置。本文根据噪声和信号的特性,选择综合使用基于 Stein 无偏风险估计理论的自适应阈值选取算法和选择 $\sqrt{2\ln(\text{length}(X))}$ 作为阈值的算法,并根据除噪效果人工调整阈值的大小。

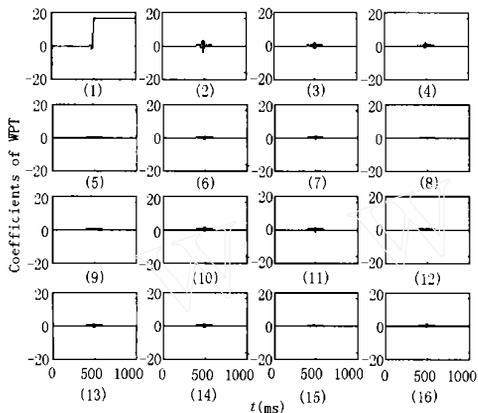


图5 阶跃信号的4级小波包分解

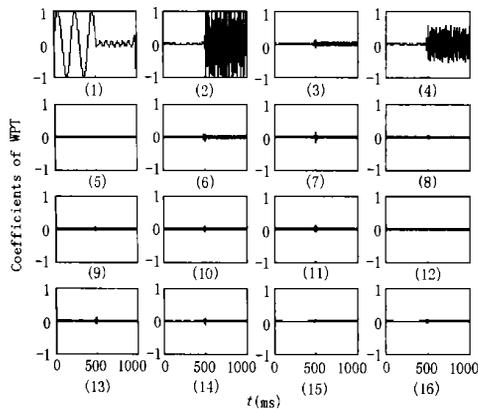


图6 含有频率突变信号的小波包分解

5 实例验证

本文通过 Matlab 仿真构造的波形验证了小波包变换良好的信噪分离能力,证明了小波包变换在噪声环境下良好的特征信号提取能力。

实例 利用 Matlab 中的 Power Blocket 仿真得到电力系统的暂态模型(图8),断路器在200点处断开,使得加在电容器C2上的电压发生变化,特征信号(发生了变化的电压信号)如图9(a),特征信号中

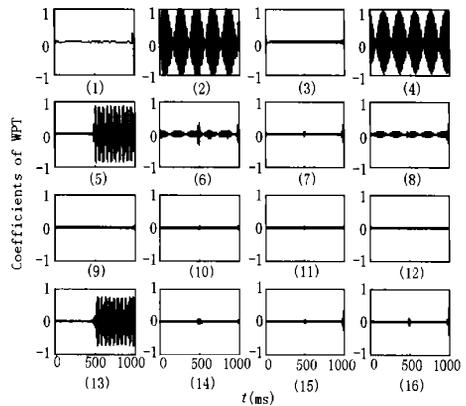


图7 含有故障谐波的分解

包含了断路器的动作点的信息,但是在噪声存在的环境下(如图9(b)是叠加了白噪声后得到的电压波形),断路器的动作点的信息就淹没在大量的噪声中。

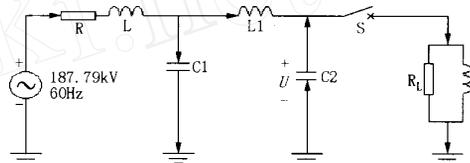
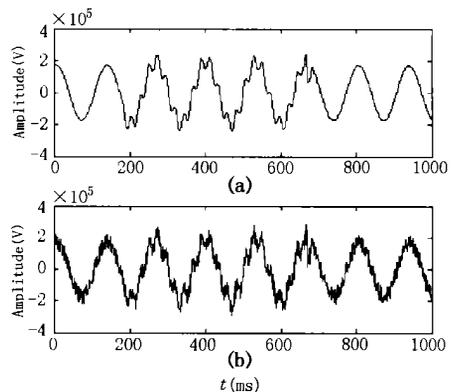


图8 电力系统仿真模型

图9 (a) 不含有噪声的特征信号
(b) 叠加噪声的特征信号

把叠加了噪声的电压信号做4级小波包分解,信号的频带被划分为16个频带,如图10,从小波包分解图10中可以看到:特征信号的能量主要分布在1、2个频带中,而噪声信号则在整个频带内均匀分布,因此可以判断,利用小波包可以实现特征信号和噪声信号能量的分离,从而在噪声环境下特征信号的提取。图11是叠加了噪声的信号和用小波包除噪后提取的特征信号,利用小波包除噪后得到的特征信号消除了大量的噪声,较好地保留了特征信息,实现了噪声环境中特征信号的提取。

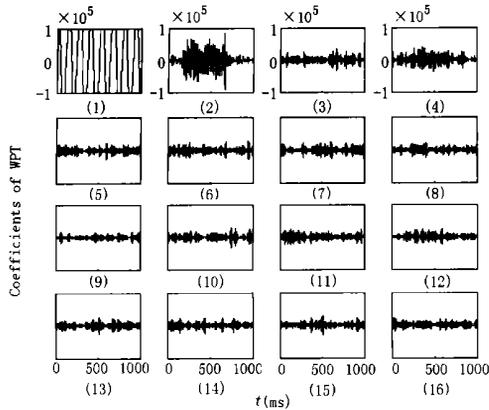


图 10 叠加了噪声信号的小波包分解

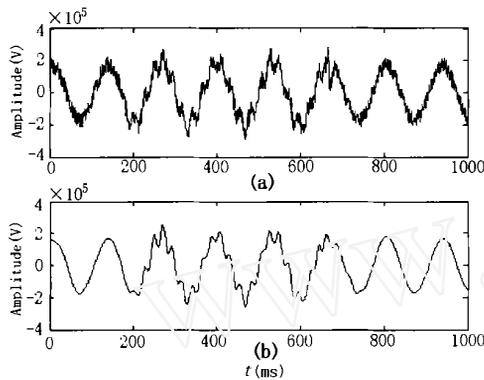


图 11 (a) 叠加了噪声的信号
(b) 利用小波包变换提取的特征信号

6 结论

本文介绍小波包变换的基本原理,从噪声信号和特征信号不同的分解特性中分析了小波包变换在噪声环境中提取特征信号的过程,并通过实例验证了小波包良好的除噪能力。为噪声环境中特征信号的提取提供了一种良好的方法,从而为电力系统的分析和检测提供了良好的条件。

Character signal extraction under noise background with wavelet packet transform

XUE Hui, YANG Ren-gang

(China Agriculture University, Beijing 100083, China)

Abstract: The voltage and current signals in power system often contain the character of the fault or transient when there is a fault or a transient in the power system. In this paper the voltage or current signal containing the fault or transient information is called character signal, which can be used in system analysis and fault detection. But these character signals often submerged in noise signals. The paper analysis the time - frequency character of noise and the character signals, give a brief summary of the theory of wavelet packet transform, thus analyze the theory bases of the wavelet packet based method of character signals extraction under noise environment. The simulation validates the good performance of wavelet packet transform in signal and noise separation, thus present a good tool for the wide use of wavelet packet transform in power system analysis.

Keyword: wavelet packet transform; character signals; frequency spectrum division

参考文献:

- [1] Yang H T, Liao C C. A Denoising Scheme for Enhancing Wavelet - Based Power Quality Monitoring System[J]. IEEE Trans Power Delivery, 2001, 16(3), 353 - 360
- [2] 傅晨钊, 汲胜昌, 李彦明, 等. 软门限小波去噪在变压器冲击试验中的应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, (7).
- [3] Aballe A, Bethencourt M, Botana F J, et al. Using wavelets transform in the analysis of electrochemical noise data[J]. The Journal of the International Society of Electrochemistry: Electrochimica Acta, 1999, 44(26).
- [4] 陈继东. 小波分析应用于在线监测中信号分离的研究[J]. 电网技术, 1999, (11).
- [5] Daubechies I. Ten Lectures on Wavelet [C]. Philadelphia (Pennsylvania): Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992.
- [6] 崔锦泰, 程正兴. 小波分析导论[M]. 西安交通大学出版社, 1997.
- [7] Quan Pan, Lei Zhang, Guanzhong Dai, Hongcai Zhang Two Denoising Methods by Wavelet Transform [J] IEEE Trans Signal Processing, Vol. 47, No. 12, 1999.
- [8] Banjanin B, Gergic B, Planinije P. Entropy - threshold method for best basis selection[J]. Image and Vision Computing, Vol. 19 No. 7.

收稿日期: 2001-10-19; 修回日期: 2002-05-09

作者简介: 薛蕙(1973-),女,讲师,博士研究生,研究领域为电能质量的分析和检测,小波在电力系统中的应用; 杨仁刚(1953-),男,教授、博导,研究领域为无功和谐波的综合补偿、配电网自动化。