

# 小波变换阈值降噪在电力负荷管理终端中的应用

赵 兵

(中国电力科学研究院,北京 100192)

**摘 要:**负荷管理终端所采集的用户侧数据是必不可少的一手基础资料,而且要及时准确。但是,由于用户侧会发生如采集通道故障、电磁干扰、冲击负荷等原因会使负荷数据产生脉冲状尖刺、阶跃状或锯齿状波动等噪声数据。目前对这些异常数据,终端会不加辨别地按照冻结时刻冻结并送给主站,而有可能将合理的数据丢掉。这些异常数据将以伪信息、伪变化规律的方式提供给负荷预测作为参考,必然误导负荷预测模型的建立,影响预测结果的精确度及可靠性。应用小波理论对电力系统负荷管理终端采集的负荷数据进行降噪处理,采用不同的阈值量化方法对降噪后的信号进行了比较和分析。通过实验证明, Sqtwolog 阈值降噪方法未出现明显的失真又较好地保留了信号中的有用部分,负荷管理终端将这些数据进行必要的降噪处理,效果明显,为提高负荷预测的精度奠定了基础。

**关键词:**小波变换;阈值降噪;负荷数据;负荷预测

**中图分类号:** TP301

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2009)07-0206-04

## Application of Wavelet Transform Threshold Noise Reduction in Load Management Terminal

ZHAO Bing

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

**Abstract:** The basic function of load management terminal is data collection, but the data are always stained when the collection channels have malfunction or are interfered by electromagnetic waves, sometimes impact load will make pulse, step or zigzag waveform noise. Currently these abnormal data will be selected by time interval and send to the master station and not to discern true or false, some normal data may be abandoned. All these abnormal data can give false information to period load prediction, which will firstly mislead the setting up of load prediction module by all means, then will affect the precision and reliability of prediction result. In this paper, wavelet theory is used to reduce noise of power load data and several threshold quantization methods are analyzed and compared. In the end, draw a conclusion that Sqtwolog threshold noise reduction method can keep the useful information of old data and have not via experiment.

**Key words:** wavelet transform; noise reduction; load data; load prediction

### 0 引 言

电力负荷预测的准确性主要取决于基础资料、预测方法、预测手段等,这其中基础资料的正确、合理、丰富尤其重要。而负荷管理系统的基本功能就是数据采集,它所采集的用户侧数据是必不可少的一手基础资料,而且及时准确。它能够采集并计算出用户的实时负荷数据,并且按照需要将此负荷数据冻结,上报给主站,供主站分析使用。负荷管理系统丰富的数据资源可以对不同类型用户的历史数据分别建立各自的得出供区的预测负荷。但是,有时由于用户侧会发生如采

集通道故障、冲击负荷等原因会使负荷数据产生脉冲状尖刺、阶跃状(突然变大或变小)、锯齿状波动等噪声数据。目前对这些异常数据,终端会不加辨别地按照冻结时刻冻结并送给主站,而有可能将合理的数据丢掉<sup>[1]</sup>。这些异常数据将以伪信息、伪变化规律的方式提供给负荷预测作为参考,必然误导负荷预测模型的建立,影响预测结果的精确度及可靠性。

基于小波变换的电力系统信号分析及其故障识别,已经从理论过渡到了实用阶段。小波变换不仅具有良好的时频特性,还具有检测和捕捉信号突变成分的特点。而电力系统负荷可以看作一种信号,对于异常数据可以看作电力系统负荷曲线中的奇异点和不规则的突变部分。如今高性能 CPU 乃至 DSP 和大容量存储芯片在负荷管理终端中的使用已经成为主流,应用小波理论来提取和分析这种信号的结构和组成

收稿日期:2008-10-17;修回日期:2009-01-26

基金项目:国家发改委项目(2006-7)

作者简介:赵 兵(1971-),男,山西人,硕士,工程师,从事配用电产品和新技术的研究开发工作。

分,在将负荷曲线送给主站前将这些数据进行必要的处理,去除系统噪声,挖掘出最能代表用户负荷的数据送给主站,会大大提高负荷预测的精度,对提高电力系统负荷预测的准确性具有重要意义。

## 1 小波变换用于信号降噪的原理

### 1.1 小波变换

小波分析方法是窗口大小固定但其形状可改变,时间窗和频率窗都可改变的时频局域化分析方法,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时间分辨率和较低频率分辨率。这种特性,使小波变换具有对信号的自适应性。

小波变换的含义是<sup>[2,3]</sup>:把某一被称为基本小波(mother wavelet)的函数 $\psi(t)$ 作位移 $b$ 后,再在不同尺度 $a$ 下与待分析信号 $f(t)$ 作内积。设 $\psi(t) \in L^2(R)$ ( $L^2(R)$ 表示平方可积的实数空间,即能量有限的信号空间),其傅里叶变换为 $\hat{\psi}(w)$ 。当 $\hat{\psi}(w)$ 满足允许条件(完全重构条件) $C_\psi = \int_R \frac{|\hat{\psi}(w)|^2}{|w|} dw < \infty$ 时,称 $\psi(t)$ 是一个基本小波或母小波。将母函数 $\psi(t)$ 经伸缩和平移后,得到 $\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi(\frac{t-b}{a})$ ,  $a, b \in R; a \neq 0$ ,其中 $a$ 为尺度因子, $b$ 为平移因子。

对于任意的函数 $f(t) \in L^2(R)$ 的连续小波变换为:

$$W_f(a, b) = \langle f, \Psi_{a,b} \rangle = |a|^{-1/2} \int_R f(t) \overline{\psi(\frac{t-b}{a})} dt$$

其重构公式(逆变换)为: $f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_R \int_R W_f(a, b) \psi(\frac{t-b}{a}) da db$

在实际应用中,为了方便用计算机进行分析、处理,往往对尺度因子 $a$ 和 $b$ 位移离散化,令离散小波变换为 $a = 2^{-j}, b = k2^{-j}$ ,离散小波变化为: $W_f(j, k) = 2^{j/2} \int f(t) \Psi^*(2^j t - k) dt$ ,称为二进小波变换。二进小波变换是连续小波变换与离散小波变换的折中,由于它具有平移不变性,因而在信号奇异性检测<sup>[4]</sup>、图像多尺度边缘提取及信号降噪中<sup>[5]</sup>具有重要的应用。

### 1.2 小波阈值降噪法原理

信号降噪的准则主要有以下两条<sup>[6~8]</sup>:

(1)光滑性:在大部分情况下,降噪后的信号应该至少和原信号具有同等的光滑性;

(2)相似性:降噪后的信号和原信号的方差估计应该是最坏情况下的方差最小。

小波阈值降噪法由于具有能得到原始信号的近似

最优估计、计算速度快以及广泛的适应性等优点,是小波降噪方法中应用最广泛的一种。

假设一个含噪的一维信号模型可表示为如下形式:

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

其中, $s(k)$ 为含噪信号, $f(k)$ 为有用信号, $e(k)$ 为噪声信号, $\sigma$ 为噪声强度。这里 $e(k)$ 是一个1级高斯白噪声,通常表现为高频信号。而工程实际中 $f(k)$ 通常为低频信号,或者是一些比较平稳的信号。一般地,噪声信号多包含在具有较高频率的细节中,所以信号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,则噪声部分通常包含在 $cd_1, cd_2, cd_3$ 中,因而,可以用门限阈值等形式对小波系数进行处理,然后对信号进行重构,即可以达到降噪的目的。对信号 $s(k)$ 降噪的目的就是要抑制信号中的噪声部分,从而在 $s(k)$ 中恢复出真实信号 $f(k)$ 。

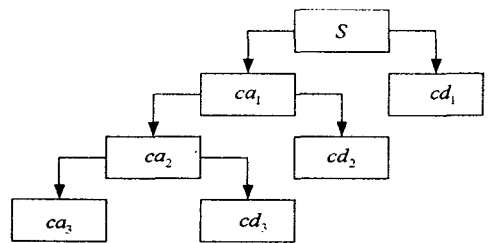


图1 三层小波分解示意图

一般而言,信号的小波阈值法降噪的过程可分为如下三个步骤:

(1)信号的小波分解。选择一个小波并确定小波分解的层次 $N$ ,然后将含有噪声的信号按照相应的小波基,求得各阶次的小波分解后的高频系数。

(2)小波分解高频系数的阈值量化。对 $1-N$ 阶尺度上分解得到的高频系数在相应层次上的门限值进行量化处理,得到新的小波高频系数。

(3)小波重构。根据小波分解得到的 $N$ 阶低频系数和经过阈值处理后得到的 $1-N$ 阶的高频系数,用小波合成重构信号,得到降噪后的信号。

这三个步骤中,关键是如何选择阈值及如何进行阈值量化,关系到信号降噪的质量。

### 1.3 基于样本估计的阈值选取

在小波分析用于降噪的过程中,核心的步骤就是在系数上作用阈值。因为阈值的选取直接影响降噪的质量,所以人们提出了各种理论的和经验的模型。小波变换中,对各层系数降噪所需的阈值一般是根据原信号的信噪比来取的。在假定噪声为白噪声的情况下,一般是用原信号的小波分解的各层系数的标准差

来衡量。

这里,采用基于样本估计的阈值选取模型,就是对信号做无偏似然估计,根据最坏情况下方差最小原则确定一个统一的阈值,然后截去超出这个阈值的系数。这种方法能够较好地克服如基于 penalty 策略的阈值选取、缺省的阈值选取模型所带来的降噪信号太过于光滑,失去了原信号本身一些信息的不足,能够最大程度地满足信号降噪准则的两种要求。

基于样本估计的阈值选取有如下四个规则:

(1)基于 Stein 无偏似然估计(SURE)的软阈值估计(Rigsure)。对于给定的阈值  $t$ ,得到它的似然估计,然后将似然函数最小化,得到所需要的阈值;

(2)长度对数阈值(Sqtwolong):从得到最小极大方差的阈值  $t$  乘以一个系数  $\sqrt{\log(\text{length}(s))}$  得到阈值;

(3)启发式 SURE 阈值(Heursure):前两种方式的综合形式,因为基于 SURE 产生的阈值在高信号噪声比的情况下抑制噪声的效果不明显,这种方法利用启发函数自动在前两种阈值选择中选取一个;

(4)最小极大方差阈值(Minimax):使得选取的阈值产生最小的极大方差。通过统计学上估计器的构造方法得到。因为降噪后的信号可以看成与未知回归函数的估计式相似,所以这种方法通过求得未知回归函数与原信号方差在最坏情况下的最小值来获得阈值。

在选择阈值时,往往存在着去除噪声和保留有用信号高频成分的矛盾。对噪声进行小波分解时,产生的高频系数向量是有用信号和噪声信号的高频系数的叠加。由于 Rigsure 和 Minimax 阈值选取规则比较保守,仅将部分系数置零,因此在信号的高频信息有很少一部分在噪声范围内时,这两种阈值非常有用,可以将弱小信号提取出来;而 Heursure 阈值和 Sqtwolong 阈值选取规则,在去除噪声时更为有效,但是可能将有用信号的高频部分当作噪声信号除去。可以根据不同的噪声特点,选择相应的阈值处理方法。

#### 1.4 小波分解高频系数阈值量化的软、硬阈值方法

对小波分解的每层高频系数,选择一个阈值进行阈值量化处理。设定随尺度变化的阈值  $\lambda(j) = \sigma \sqrt{2\log(N)/\log(j+1)}$ ,其中  $\sigma^2$  为噪声的方差,  $N$  为离散采样信号的长度,  $j$  为分解尺度。令  $cd(j)$  为分解尺度  $j$  上的原始高频系数,  $\hat{cd}(j)$  为阈值量化后的高频系数。在对小波分解高频系数阈值量化中,阈值函数体现了对超过和低于阈值的高频系数模的不同处理策略以及不同量化方法。定义

$$\hat{cd}(j) = \begin{cases} cd(j), & |cd(j)| \geq \lambda(j) \\ 0, & |cd(j)| < \lambda(j) \end{cases}$$

称之为硬阈值量化方法;软阈值量化方法定义为:

$$\hat{cd}(j) = \begin{cases} \text{sign}(cd(j)) * (|cd(j)| - \lambda(j)), & |cd(j)| \geq \lambda(j) \\ 0, & |cd(j)| < \lambda(j) \end{cases}$$

图 2、3 说明了这两种方法的区别:图 2 为硬阈值方法,图 3 为软阈值方法。硬阈值方法的缺点是在某些点会产生间断,软阈值方法是在硬阈值的基础上将边界出现不连续点收缩到零。这样可以有效地避免间断,使得重建的信号比较光滑。这两种方法在实际中得到广泛应用。

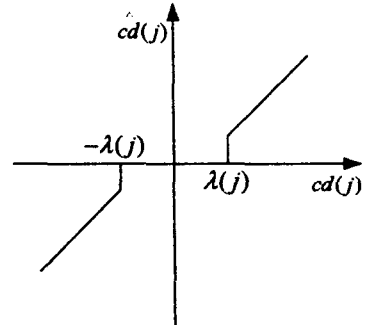


图 2 硬阈值方法

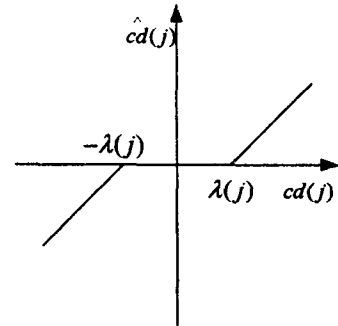


图 3 软阈值方法

## 2 小波变换阈值降噪在电力负荷管理终端中的应用

在实际工况下,电力负荷管理系统采集到的电力负荷信号中存在着噪声和其它工况扰动成分。对这些异常数据,终端会不加辨别地按照冻结时刻冻结并送给主站,而有可能将合理的数据丢掉。这些异常数据将以伪信息、伪变化规律的方式提供给负荷预测作为参考,必然误导负荷预测模型的建立,影响预测结果的精确度及可靠性。利用小波变换对电力负荷信号进行滤波,是一种有效的尝试。

对某地的电网负荷有功功率进行监测。在采样过程中,监测设备受到干扰,致使所采集的信号受到噪声的污染,见图 4。文中小波变换采用 Daubechies 小波基函数 db1 对所采集的信号进行 3 层分解,并对分解得到的高频系数分别运用 4 种阈值选取方法进行软阈值降噪处理<sup>[9]</sup>,以恢复原始信号,得到效果如图 5。其

中,图(a)为 Rigsure 阈值降噪,图(b)为 Sqtwolog 阈值降噪,图(c)为 Heursure 阈值降噪,图(d)为 Minimax 阈值降噪。

频局部化特性,使其在信号降噪中得到广泛的应用。应用小波理论对电力系统负荷曲线进行降噪处理,采用不同的阈值量化方法对降噪后的信号进行比较和分

析。文中创新点是,首次将 Sqtwolog 阈值降噪方法应用于电力负荷管理终端,将负荷曲线送给主站前将这些数据进行必要的降噪处理,效果明显,为提高负荷预测的精度奠定了基础。

参考文献:

[1] 张文哲,陈 刚,吴迎霞.基于小波理论对负荷预测中不良数据的处理[J].重庆大学学报,2007,24(6):77-81.

[2] Jaideva C,Chan G A K.小波分析理论、算法以及应用[M].北京:国防工业出版社,2007.

[3] 秦前清,杨宗凯.实用小波分析[M].西安:西安电子科技大学出版社,1994.

[4] 杨亚菁,钟丽萍.非线性小波去噪技术在水声信号识别中的应用[J].微机发展(现更名:计算机技术与发展),2005,15(4):21-23.

[5] 周 密,李尊尊,耿国华.基于小波阈值的图像去噪方法研究[J].计算机技术与发展,2008,18(5):22-24.

[6] Mallat S,Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelet[J]. IEEE Trans on Inform Theory,1992,38(2):617-643.

[7] XU Yan Sun, Weaver J B,Healy D M,et al. Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique[J]. IEEE Trans on Image Processing,1994,3(6):747-758.

[8] Chang S G,Yu Bin,Vetterli M. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compressing[J]. IEEE Trans on Image Processing,2000,9(9):1532-1546.

[9] 董长虹,高 志,余啸海. Matlab 小波分析工具箱原理与应用[M].北京:国防工业出版社,2004.

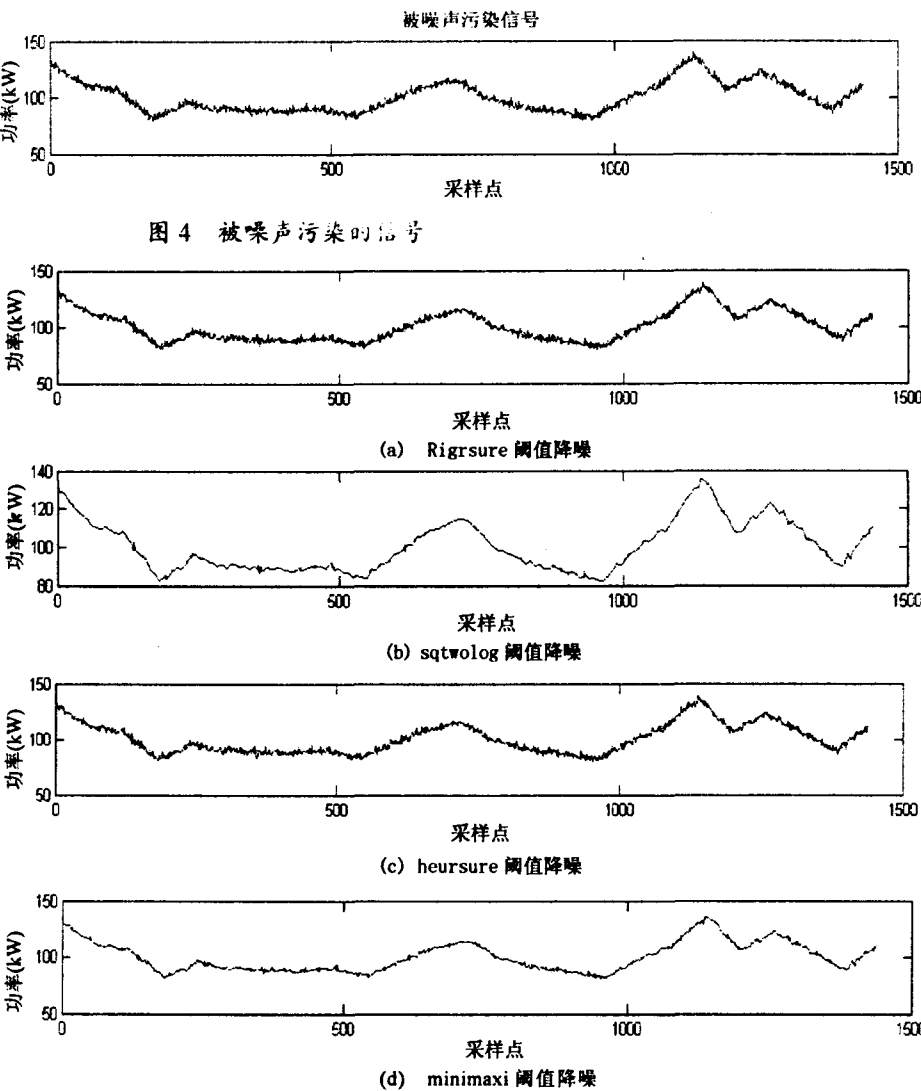


图 4 被噪声污染的信号

图 5 小波变换阈值降噪负荷曲线

根据标准差定义: $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [s(i) - f(i)]^2}{N - 1}}$ ,其中  $s(i)$  为含噪信号,  $f(i)$  为原始信号,  $n$  为信号长度。由公式计算得到 4 种降噪信号的标准差见表 1。

表 1 含噪信号与不同降噪方法处理后的标准差

阈值降噪方法	Rigsure	Sqtwolog	Heursure	Minimax
标准差	2.9051	1.3818	2.9051	1.8100

在 4 种方法中, Sqtwolog 既没有出现明显的失真又较好地保留了信号中的有用部分。

3 结束语

小波变换是傅里叶变换的改进,因具有独特的时