

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.04.021

基于小波分析的电力负荷模型辨识数据去噪

熊传平¹,曹军杰²,陈 谦²,鞠 平²

(1.河南省电力公司,河南 郑州 450052;2.河海大学能源与电气学院,江苏 南京 210098)

摘要:为了提高电力负荷模型辨识的准确度,需要对实际扰动数据进行去噪处理.为此,针对有效值动态数据,提出了将平稳阶段噪声过滤掉而暂态阶段数据不加处理的去噪策略,将去噪后的平稳阶段数据与暂态阶段数据合成获得辨识用数据,给出了平稳阶段起始点的判据,提出了基于小波分析的平稳阶段数据去噪方法.实际应用结果表明,将处理过的扰动信号用于负荷模型参数辨识,所得参数波动更小、方差更小.

关键词:电力负荷模型;噪声;小波分析;辨识

中图分类号:TM743 文献标志码:A 文章编号:1000-1980(2011)04-0470-05

近年来,电力系统建模已经得到电力部门的高度重视,国内外已经取得了不少重要成果^[1-19].迄今为止,负荷建模的方法可以归结为3大类^[4]:第1类是统计综合法,即基于元件的间接法;第2类是总体测辨法,即基于测量的直接法;第3类是故障拟合法.

目前,国内外电力系统中广域测量系统(WAMS)的应用日渐普及,这为总体测辨法提供了有利的条件.总体测辨法的基本思想是把负荷作为一个随机系统来考虑,先利用数据采集装置,从现场采集负荷所在母线的扰动数据,然后根据系统辨识理论确定综合负荷模型,如图1所示.

在总体测辨法中,只有采用有效的动态扰动数据,才能辨识出有用的负荷模型.目前使用的扰动数据一般直接从WAMS中获得,并直接用于负荷模型的辨识.而实际扰动数据却含有噪声,如果不加以处理,则会影响负荷辨识的准确度.

本文利用小波分析方法,将有效值平稳阶段的噪声过滤掉,再将处理过的扰动数据用于负荷模型辨识.结果表明,使用去噪后数据辨识负荷模型的结果更加合理.

1 小波分析方法^[20-23]

信号分析一般是为了获得时间和频率域之间的相互关系.傅立叶变换提供了有关频率域的信息,但时间方面的局部化信息却基本丢失.与傅立叶变换不同,小波变换(wavelet transform,WT)通过平移母小波可获得信号的时间信息,而通过缩放小波的宽度(或者叫做尺度)可获得信号的频率特性.对母小波的缩放和平移操作是为了计算小波的系数.这些系数代表小波和局部信号之间的相互关系.

将任意空间 $L^2(R)$ 中的函数 $f(t)$ 在小波母函数下展开,称这种展开为函数 $f(t)$ 的连续小波变换,表达式为

$$Wf(a,\tau)=\frac{1}{\sqrt{a}}\int_R f(t)\psi^*\left(\frac{t-\tau}{a}\right)dt \tag{1}$$

式中: τ ——位移; a ——尺度; $\psi(t)$ ——小波母函数.

在实际应用中,为了方便用计算机进行分析、处理,信号 $f(t)$ 通常为离散时间序列.对于连续小波变换,

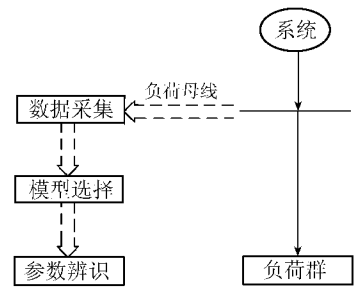


图1 总体测辨法
Fig. 1 Measurement-based approach

收稿日期:2010-09-10

基金项目:国家杰出青年科学基金(50725723)

作者简介:熊传平(1980—)男,河南信阳人,工程师,硕士,主要从事电力负荷建模研究.E-mail:xiongsluet@163.com

其尺度和平移参数 a 和 τ 也必须离散化,使之转化为离散小波变换.

离散小波变换可以用来分析或分解信号,这个过程叫做分解.把分解系数还原成原始数据的过程叫做小波重构或合成,数学上叫做逆离散小波变换.

2 有效值数据的去噪处理

来自 WAMS 动态干扰下的有效值数据(包括电压、有功功率、无功功率等),既有低频分量也有高频分量.一般来说,低频分量是电力负荷模型辨识所需要的,应该保留.动态过程大体可分为 2 个阶段,前面是暂态阶段,后面是平稳阶段.暂态阶段各变量变化比较剧烈,其中的高频分量有可能是负荷本身的暂态过程引起的,所以不应该滤除;而平稳阶段各变量变化比较平缓,其中的高频分量则基本上是噪声,所以应加以滤除.

鉴于小波分析在信号分析方面的优势,本文采用小波分析方法对平稳阶段的有效值数据进行去噪分析,流程如图 2 所示.具体步骤如下:

a. 采用小波变换将有效值信号分解为低频和高频信号.

b. 判断有效值数据平稳阶段的起始点.对于电力负荷建模来说,有效值数据只需要取 2 s.如果采样频率为 100 Hz,则数据为 200 点.当连续 20 点电压值与稳态值的偏差小于 0.5% 时,可以认为已进入平稳阶段,则取 20 点中的第 1 点为平稳阶段起始点.

c. 将平稳阶段信号中的高频分量滤除(即取为零),但暂态阶段的高频分量却需要保留.

d. 将低频信号与暂态阶段高频信号进行叠加,即可重构生成去噪后的信号.

这里选用 Haar 小波作为母小波. Haar 函数是小波分析中最早用到的一个具有紧支撑的正交小波函数,它是支撑域在 $t \in [0, 1]$ 范围内的单个矩形波. Haar 函数的定义如下:

$$\varphi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 1/2 \\ -1 & 1/2 \leq t \leq 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \tag{2}$$

$\varphi(t)$ 不但与自己的整数位移正交,即 $\int \varphi(t) \varphi(t-k) dt = \alpha(k \in Z)$ 而且与 $\varphi(2^j t)$ ($j \in Z$) 正交.因此,在 $a = 2^j$ 的多分辨率系统中 Haar 小波构成一组较简单的正交归一的小波族.

以某实际电网的一组扰动数据(均为标么值)为例,其原始动态曲线如图 3(a)所示,经过小波分析可以获得低频信号、暂态阶段高频有用信号、平稳阶段高频噪声信号,如图 3(b)~(d)所示.将平稳阶段的高频噪声滤除之后,与低频信号叠加重构生成去噪后的信号,如图 3(e)所示.

由图 3(d)可以看出,扰动信号中平稳阶段的高频噪声信号幅值较小,频率较高.

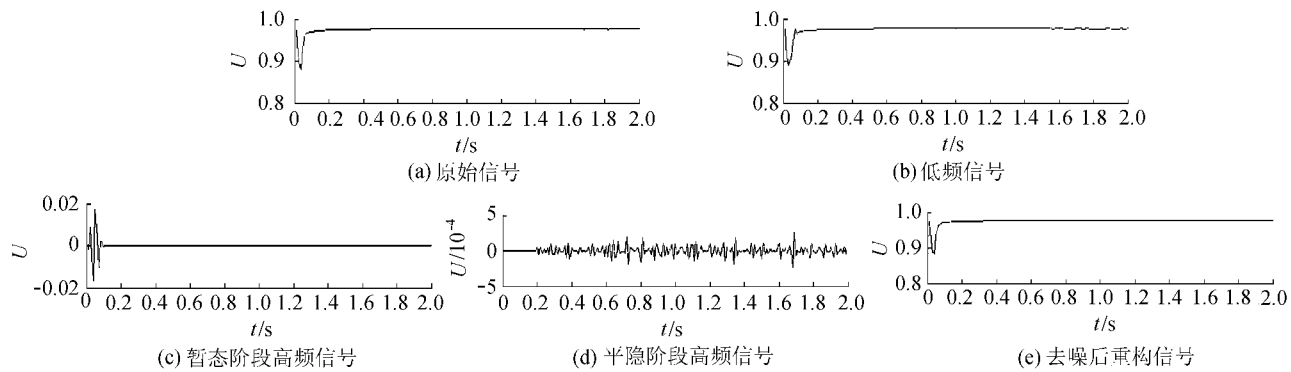


图 3 实际扰动电压信号去噪重构

Fig. 3 Reconstruction of disturbance voltage signal

3 基于去噪数据的参数辨识

采用某电网负荷节点的实测数据,对比原始数据以及去噪数据之下的辨识结果,辨识方法采用蚁群算法.结果如表 1、表 2 所示.其中, P_{MP} 为电动机比例, X_s 为定子电抗, K_L 为负载率, T_J 为惯性时间常数,前 3 个参数均为标么值.某个参数 θ 的均值 E_θ 和方差 σ_θ 的计算公式为

$$E_\theta = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \theta_k$$

(3)

$$\sigma_\theta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\theta_k - E_\theta)^2}$$

(4)

式中 N 为数据总数.

表 1 采用原始数据的辨识结果

Table 1 Estimated parameters with original data					
类型	数据编号	原始数据辨识结果			
		P_{MP}	X_s	K_L	T_J/s
I	1	0.500	0.185	0.496	1.975
	2	0.370	0.181	0.474	1.920
	3	0.495	0.187	0.492	1.973
	均值 E_θ	0.455	0.184	0.487	1.956
	方差 σ_θ	0.060	0.002	0.010	0.025
II	1	0.401	0.193	0.515	2.027
	2	0.274	0.176	0.445	2.031
	3	0.278	0.170	0.410	2.030
	均值 E_θ	0.318	0.180	0.457	2.029
	方差 σ_θ	0.059	0.010	0.044	0.002

表 2 采用去噪数据的辨识结果

Table 2 Estimated parameters with de-noised data					
类型	数据编号	去噪数据辨识结果			
		P_{MP}	X_s	K_L	T_J
I	1	0.454	0.184	0.487	1.953
	2	0.465	0.183	0.491	1.956
	3	0.442	0.185	0.485	1.957
	均值 E_θ	0.454	0.185	0.487	1.955
	方差 σ_θ	0.009	0.001	0.003	0.002
II	1	0.322	0.186	0.452	2.045
	2	0.303	0.175	0.463	2.012
	3	0.319	0.187	0.456	2.003
	均值 E_θ	0.314	0.182	0.457	2.020
	方差 σ_θ	0.008	0.005	0.004	0.018

对比表 1 和表 2 可见:

- a. 使用去噪数据辨识结果的平均值和使用原始数据辨识结果的平均值相差不大,但个体结果有差异.
- b. 对于每一个扰动的辨识结果,使用去噪数据辨识结果的离散性较使用原始数据辨识结果的离散性要小,方差明显变小.也就是说,采用去噪后数据所得参数更加平稳,这是实际工程中所期望的.

图 4、图 5 分别是使用原始数据以及去噪数据辨识所得负荷模型的有功、无功拟合曲线.对比图 4、图 5 可以看出,使用去噪数据所得模型的曲线更加接近实测曲线.

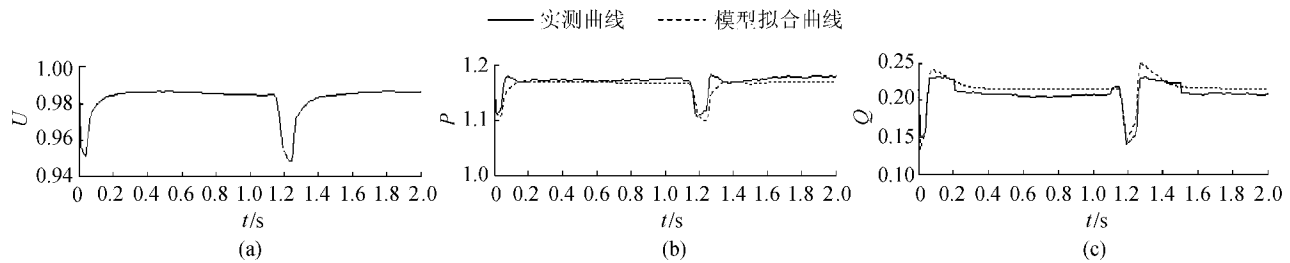


图 4 采用原始数据辨识负荷模型的拟合曲线
Fig. 4 Fitting curves for identifying load model with original data

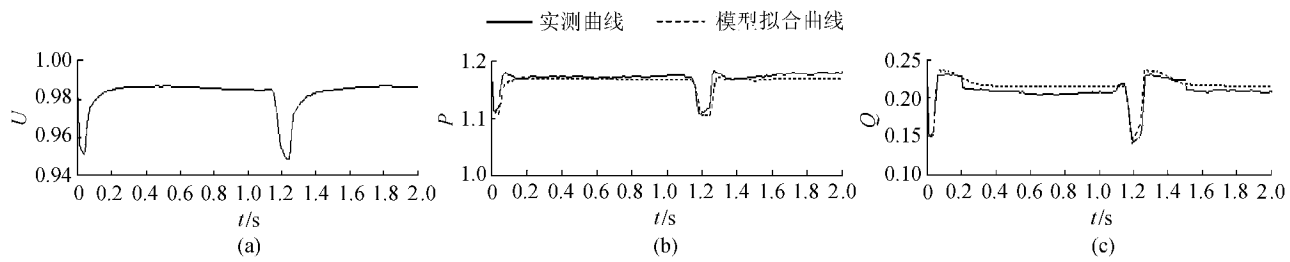


图 5 采用去噪数据辨识负荷模型的拟合曲线
Fig. 5 Fitting curves for identifying load model with de-noised data

4 结 语

本文将负荷辨识的扰动数据的动态过程分为暂态阶段和平稳阶段,采用小波分析方法进行分解,分别获得低频信号、暂态阶段高频有用信号和平稳阶段高频噪声信号,提出只对平稳阶段数据进行去噪处理,然后与暂态阶段数据叠加重构生成去噪后的信号,用于负荷模型辨识。根据实际工程数据,对比了采用原始信号和去噪信号获得的负荷参数辨识结果。对比结果表明,由去噪信号辨识所得的负荷参数更加合理可信。

参考文献:

- [1] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance. Standard load models for power flow and dynamic performance simulation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(3): 1302-1313.
- [2] KUNDUR P. Power system stability and control[M]. New York: McGraw-Hill Inc., 1994: 35-40.
- [3] 沈善德. 电力系统辨识[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [4] 鞠平, 马大强. 电力系统负荷建模[M]. 2版. 北京: 水利电力出版社, 2008: 1-144.
- [5] IEEE Task Force. Bibliography on load models for power flow and dynamic performance simulation[J]. IEEE Trans on Power System, 1995, 10(1): 523-538.
- [6] 石景海, 贺仁睦. 基于量测的负荷建模: 分类算法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 78-82. (SHI Jing-hai, HE Ren-mu. Measurement-based load modeling: sorting algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(2): 78-82. (in Chinese))
- [7] 石景海, 贺仁睦. 动态负荷建模中的负荷时变性研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(4): 86-90. (SHI Jing-hai, HE Ren-mu. Load time-variation study in dynamic load modeling[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(4): 86-90. (in Chinese))
- [8] MA Jin, HE Ren-mu, HILL D J. Load modeling by finding support vectors of load data from field measurements[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(2): 726-735.
- [9] HE Ren-mu, MA Jin, HILL D J. Composite load modeling via measurement approach[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(2): 663-672.
- [10] 张东霞, 汤涌, 朱方, 等. 接于高压母线的电动机负荷等值模型[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(6): 14-18. (ZHANG Dong-xia, TANG Yong, ZHU Fang, et al. Equivalent model for induction-motor load connected to high voltage bus[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(6): 14-18. (in Chinese))
- [11] 张红斌, 汤涌, 李柏青. 差分方程负荷模型参数分散性的研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(18): 1-5. (ZHANG Hong-bin, TANG Yong, LI Bai-qing. Study on dispersing of difference equation load model parameters[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(18): 1-5. (in Chinese))
- [12] 汤涌, 张红斌, 侯俊贤, 等. 考虑配电网的综合负荷模型[J]. 电网技术, 2007, 31(5): 34-38. (TANG Yong, ZHANG Hong-bin, HOU Jun-xian, et al. A synthesis load model with distribution network[J]. Power System Technology, 2007, 31(5): 34-38. (in Chinese))
- [13] 史真惠, 朱守真, 郝竟宏, 等. 改进 BP 神经网络在负荷动态比例确定中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 25-30. (SHI Zhen-hui, ZHU Shou-zhen, ZHENG Jing-hong, et al. Application of improved back propagation neural network for identification of the percentage of dynamic component in composite load[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(7): 25-30. (in Chinese))
- [14] 徐群, 刘刚, 李育燕, 等. 单台空调负荷动态特性分析与建模[J]. 高电压技术, 2006, 32(11): 127-130. (XU Qun, LIU Gang, LI Yu-yan, et al. Characteristic analysis and modeling of a single air conditioner load[J]. High Voltage Technology, 2006, 32(11): 127-130. (in Chinese))
- [15] 李育燕, 陈谦, 黄文英, 等. 空调群负荷动态特性分析与建模[J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 66-69. (LI Yu-yan, CHEN Qian, HUANG Wen-ying, et al. Dynamic characteristics and modeling of air conditioner load[J]. High Voltage Technology, 2007, 33(1): 66-69. (in Chinese))
- [16] 鞠平, 何孝军, 黄丽, 等. 广义电力负荷的模型结构和参数确定[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(23): 11-13. (JU Ping, HE Xiaojun, HUANG Li, et al. Model structures and parameter estimation of generalized load[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(23): 11-13. (in Chinese))
- [17] CHOI B K, CHIANG H D, LI Y H, et al. Measurement-based dynamic load models: derivation, comparison, and validation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(3): 1276-1283.
- [18] 谢会玲, 鞠平, 陈谦, 等. 广域电力系统负荷整体建模方法[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(1): 1-5. (XIE Hui-ling, JU Ping, CHEN Qian, et al. Studies on electric load modeling of wide area power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(1): 1-5. (in Chinese))
- [19] 谢会玲, 鞠平, 罗建裕, 等. 基于灵敏度计算的电力系统参数可辨识性研究[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(7): 17-21. (XIE

Hui-ling JU Ping ,LUO Jian-yu ,et al. Identifiability analysis of load parameters based on sensitivity calculation[J]. Automation of Electric Power Systems 2009 33(7) :17-21.(in Chinese))

- [20] 何书元. 应用时间序列分析[M]. 北京 :北京大学出版社 2003 :139-143.
- [21] 任震. 小波分析及其在电力系统中的应用[M]. 北京 :中国电力出版社 2003.
- [22] 彭玉华. 小波变换与工程应用[M]. 北京 :科学出版社 2002.
- [23] 葛哲学 ,沙威. 小波分析理论与 MATLAB R2007 实现[M]. 北京 :电子工业出版社 2007.

A wavelet-based method for de-noising data of electric load modeling

XIONG Chuan-ping¹ , CAO Jun-jie² , CHEN Qian² , JU Ping²

(1. Henan Electric Power Company , Zhengzhou 450052 , China ;

2. College of Energy and Electrical Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : To improve the identification accuracy of electric load modeling , the disturbance data need to be de-noised . A strategy of filtering the noise of the stable stage while not filtering the noise of the transient stage was proposed . The data for model identification was obtained by synthesizing the de-noised data of the stable stage and the data of the transient stage . The position of the starting point was provided . A wavelet-based method was proposed for filtering the noise in the stable stage . The practical applications show that the load model parameters estimated with the de-noised data are stabler and the variances are smaller .

Key words : electric load modeling ; noise ; wavelet analysis ; identification

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

(邮发代号 28-63 , CN32-1117/TV , ISSN1000-1980 , 双月刊)

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊 , 主要刊登河海大学在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章 , 可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考 .

《河海大学学报(自然科学版)》创办于 1957 年 , 是全国中文核心期刊、中国科技核心期刊 , 在国内工程技术界和学术界有较大影响 . 刊载的文章中 , 绝大部分为国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果 , 部分达到了国内领先和国际先进水平 , 为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议 , 发挥了较大的社会效益和经济效益 , 深受工程界和科技界赞许 , 并获得中国高校精品科技期刊奖以及中国期刊方阵“双效期刊”、华东地区优秀期刊、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号 .

《河海大学学报(自然科学版)》每逢单月出版 , 国内外公开发行 , 2012 年每期定价 15.00 元 , 全年 6 期共 90.00 元 . 欢迎广大读者通过全国各地邮政局订阅或直接与编辑部联系 .

编辑部地址 210098 南京市西康路 1 号 《河海大学学报(自然科学版)》编辑部

电话/传真 025-83786343 , E-mail : xb@hhu.edu.cn

http ://kkb.hhu.edu.cn/web/index_xb.asp ?l_id = 53