

文章编号:1671-251X(2016)05-0040-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2016.05.010

公茂法, 侯林源, 梁龙金, 等. 基于小波包和 PNN 的电能质量扰动定位与分类[J]. 工矿自动化, 2016, 42(5):40-44.

基于小波包和 PNN 的电能质量扰动定位与分类

公茂法¹, 侯林源¹, 梁龙金², 司丹森^{1,3}, 柳岩妮¹, 王宁¹

(1. 山东科技大学 电气与自动化工程学院, 山东 青岛 266590;

2. 特变电工股份有限公司, 新疆 昌吉 831100;

3. 国网山东电力平度供电公司, 山东 平度 266700)

摘要:根据暂态电能质量扰动现象的本质特征,提出一种基于小波包和 PNN 的电能质量扰动定位与分类新方法。该方法利用小波包对扰动信号进行采样和分解,提取小波包重构系数并定位信号突变点,然后计算各频段的能量并进行归一化处理,构造能量特征向量作为 PNN 的输入样本,进行 PNN 网络训练和测试,最终实现不同扰动信号的分类。Matlab 仿真结果表明,该方法能够快速、准确地定位和区分扰动信号。

关键词:电能质量; 扰动信号定位; 扰动信号分类; 小波包; PNN

中图分类号:TD611

文献标志码:A

网络出版时间:2016-04-29 11:25

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20160429.1125.010.html>

Location and classification of power quality disturbance based on wavelet packet and PNN

GONG Maofa¹, HOU Linyuan¹, LIANG Longjin², SI Danmiao^{1,3}, LIU Yanni¹, WANG Ning¹

(1.College of Electrical Engineering and Automation, Shandong University of Science and Technology,

Qingdao 266590, China; 2.Tebian Electric Apparatus Stock Co., Ltd., Changji 831100, China;

3.State Grid Shandong Pingdu Electric Power Company, Pingdu 266700, China)

Abstract: A new method of location and classification of power quality disturbance based on wavelet packet and PNN was proposed according to essential characteristics of transient power quality disturbance. The disturbance signals were sampled and decomposed by using wavelet packet to extract wavelet packet reconstructed coefficient and to locate signal saltation point, then the energy of each band was calculated and normalized, energy feature vectors were constructed as input sample of PNN for network training and testing, and finally classification of different disturbance signal was achieved. Matlab simulation results show that the method can quickly and accurately locate and classify disturbance signal.

Key words: power quality; disturbance signal location; disturbance signal classification; wavelet packet; PNN

0 引言

随着工业发展和全球科技进步,电能质量问题越来越受到重视。这是由 2 个方面因素决定的:一方面,电力负荷结构的重大调整,大量非线性、波动性、冲击性和不平衡性负荷的广泛使用,导致电能

质量下降;另一方面,随着计算机技术和半导体技术的发展,高自动化和高智能化的电子设备对电能质量提出了越来越高的要求^[1-2]。IEEE 标准中将电能质量扰动分为七大类,其中电力系统中常见的动态电能质量扰动有电压骤升、电压骤降、电压中断、暂态脉冲和暂态振荡。本文主要针对这 5 种扰动类型

收稿日期:2015-12-02;修回日期:2016-03-09;责任编辑:胡娟。

作者简介:公茂法(1959—),男,山东临沂人,教授,硕士,主要从事电力系统自动化、电力电子技术与应用等方面的研究工作,E-mail:sdgmf@163.com。

进行分析。

针对如何从扰动信号中定位并提取扰动特性以完成自动分类的问题,国内外学者进行了广泛深入的研究,已提出许多可行的方法。动态电能质量扰动分类包括特征提取与模式识别2个过程。其中,特征提取是对原始波形进行变换和重构,并从中提取有效的分类特征,较常用的有 Hilbert-Huang 变换^[2]、FFT 和 STFT 变换^[3]、小波变换^[4-5]、S 变换^[6]等。模式识别过程是对扰动信号样本进行分类,主要方法有神经网络^[7]、支持向量机^[8-9]、粒子群算法^[9]等。与其他变换方式相比,小波包变换时-频表现更好,可自适应地选择相应频带,高频部分分辨率高,在提取不同频段特征量的同时可有效定位扰动信号。概率神经网络(Probabilistic Neural Networks, PNN)是一种结构简单、训练简洁的人工神经网络,较 BP 网络训练过程更加简单,收敛速度更快,稳定性更高。

本文首先选用小波包变换对原始信号进行3层分解,利用第3尺度上高频分解系数的模极大值点定位扰动信号,并在不同频率范围内提取重构系数,构造特征向量;然后,通过收集特征向量创建并训练 PNN 网络;最后,利用训练后的 PNN 网络对电能质量扰动信号进行分类。

1 小波包和 PNN 算法

1.1 小波包分析

小波分析作为一种时频分析方法,具有多分辨率分析的特点,其在分析和处理非平稳信号上,可以很好地展现出非平稳信号最根本和最关键的时频局域性质。小波包分析能够将频带进行多层次划分,它在对低频部分进行分解的同时也对高频部分进一步分解,为信号提供了一种更加精细的分析方法。同时,小波包可自适应地选择相应频带,与信号频谱相匹配^[10]。

对采样信号 S 进行3层小波包分解,小波包分解树结构如图1所示,其中每层分解的低频段用 A 表示,高频段用 D 表示。

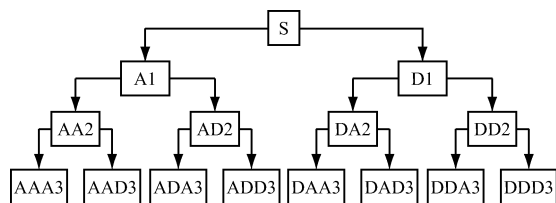


图1 小波包分解树结构

1.2 PNN 算法

PNN 是基于统计原理的一种前馈型神经网络模型,它由径向基函数网络发展而来,建立在贝叶斯最小风险准则的理论依据之上。PNN 作为径向基网络的一种,适合于模式分类。PNN 的层次模型由输入层、模式层、求和层、输出层共4层组成,其基本结构如图2所示。

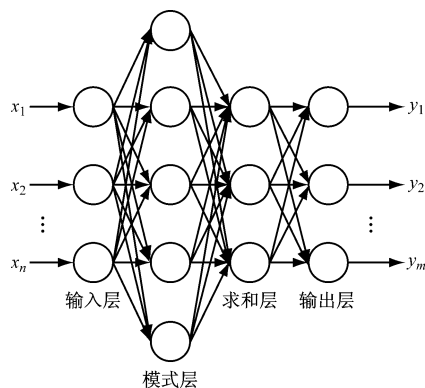


图2 PNN 基本结构

PNN 的4层结构有着不同的功能。输入层负责接收训练样本的值,再将其特征向量传递给整个网络。模式层负责计算输入特征向量与训练集中各个模式的匹配关系。模式层神经元的个数等于各类别训练样本数之和,该层每个模式单元的 outputs 为

$$f(\mathbf{X}, \mathbf{W}_i) = \exp\left[-\frac{(\mathbf{X} - \mathbf{W}_i)^T (\mathbf{X} - \mathbf{W}_i)}{2\delta^2}\right] \quad (1)$$

式中: $\mathbf{X}$ 为输入向量; $\mathbf{W}_i$ 为输入层与模式层连接的权值; δ 为平滑因子,对分类起着至关重要的作用。

求和层将属于某一类的概率累加,按式(1)计算,从而得到扰动信号类别的概率密度函数。输出层是一种竞争神经元,该层的每个神经元与一个数据类型(即扰动信号类别)形成映射关系。

1.3 小波包和 PNN 算法实现

小波与 PNN 相结合的算法流程如图3所示。

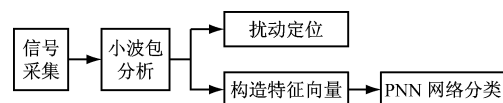


图3 小波与 PNN 相结合的算法流程

2 基于小波包的扰动信号定位

采用 Matlab 软件对本文选取的正常信号和5种常见动态电能质量扰动信号建立模型,见表1。其中 A 为电压信号峰值; ω 为工频频率; $u(\cdot)$ 为阶跃函数; T 为工频周期; α, β 为常系数; t_1, t_2, t_b 为常数; τ 为时间系数; ω_b 为震荡频率。

表 1 电能质量信号模型

信号类型	信号模型	参数设置
正常信号	$S(t)=A\sin \omega t$	$A=1,\omega=50\text{ Hz}$
电压骤升	$S(t)=A[1+\alpha(u(t-t_1)-u(t-t_2))]\sin \omega t$	$0.1\leq\alpha\leq 0.5,T\leq t_2-t_1\leq 8T$
电压骤降	$S(t)=A[1-\alpha(u(t-t_1)-u(t-t_2))]\sin \omega t$	$0.1\leq\alpha\leq 0.9,T\leq t_2-t_1\leq 8T$
电压中断	$S(t)=A[1-\alpha(u(t-t_1)-u(t-t_2))]\sin \omega t$	$0.9\leq\alpha\leq 0.99,T\leq t_2-t_1\leq 8T$
暂态脉冲	$S(t)=A(1+\alpha\sin \beta\omega t)\sin \omega t$	$0.1\leq\alpha\leq 0.2,0.1\leq\beta\leq 0.2$
暂态振荡	$S(t)=\sin \omega t+\alpha\exp((t-t_b)/\tau)\sin \omega_b(t-t_b)$	$0.008\leq\tau\leq 0.04,100\leq\omega_b\leq 400$

选择稳定、标准的工频信号,并同时添加电压骤降、电压骤升、电压中断、暂态脉冲和暂态振荡 5 种扰动信号作为动态电能质量的扰动信号进行仿真分析,如图 4 所示。在信号采样时对每工频周期采样 100 个点,分解时选用 db4 小波函数对采样信号进行小波包 3 层分解。

利用小波包分析扰动信号,获得第 3 尺度上的信号重构系数如图 5 所示。

对原始采样信号进行小波包系数分解和重构后,不同扰动信号各个频段和同一扰动信号不同尺

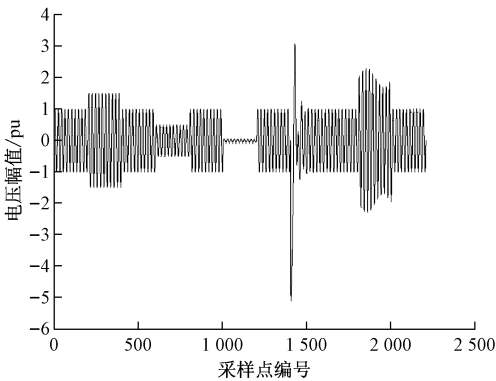


图 4 电压信号初始波形

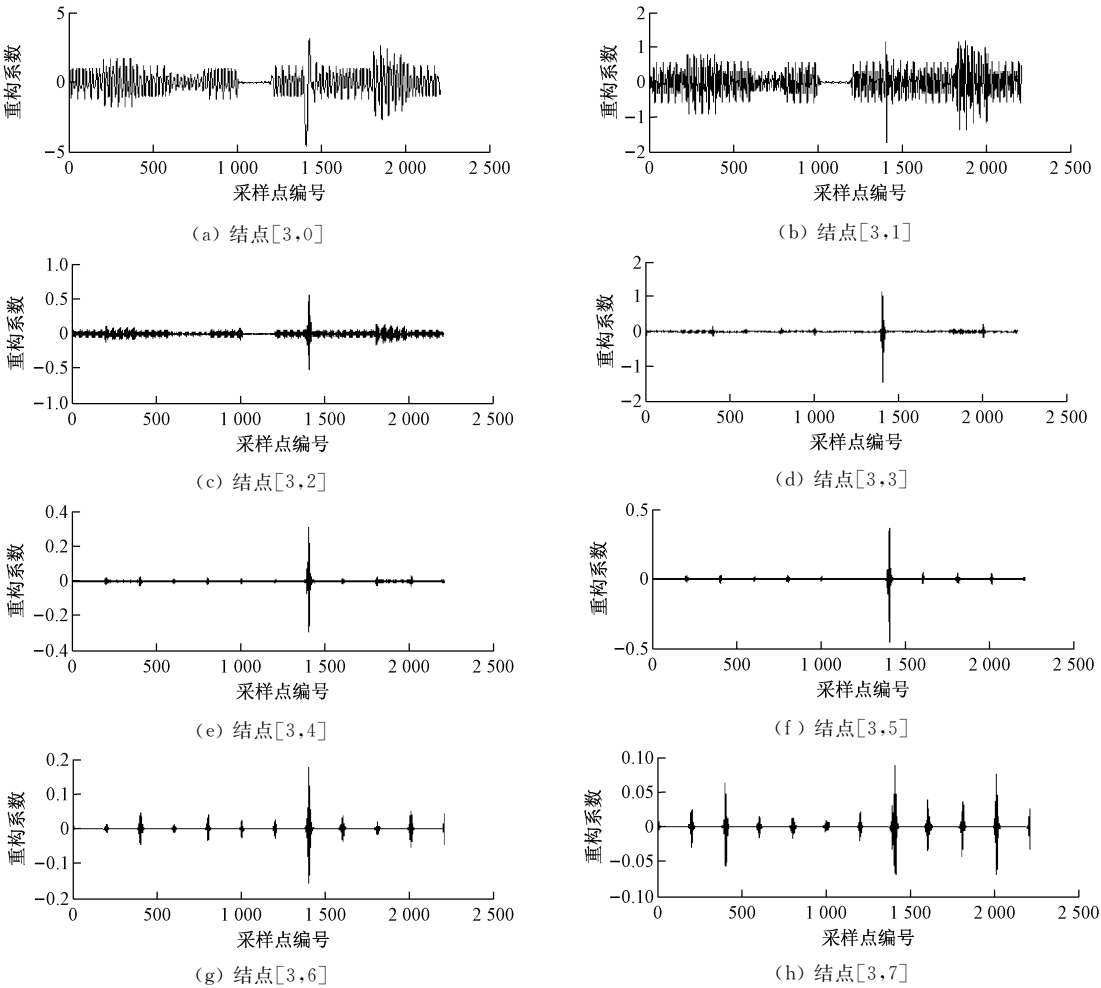


图 5 小波包分解重构系数

度上的重构系数均表现出明显的差异。因为扰动信号在除扰动起点和终点外的时间段内都是连续的,所以,在小波高频尺度上,只有突变点才有信息。利用这个性质可以定位扰动的起始和终止时刻。小波分析可以计算高频尺度上的模极大值点,通过确定模极大值点即可定位信号突变点。通过高频重构系数结点[3,7]的图像可以明确定位扰动信号。

3 基于小波包和 PNN 的扰动信号分类方法

3.1 信号能量特征向量提取

选取 PNN 扰动信号特征量时,需要使得扰动样本在最大程度上包含其信息量,最能反映扰动类别。同时,特征向量的构建应忽略一些无关量,以减小 PNN 规模。原始信号经过小波包3层分解重构后用8个频率成分 $S_{3j}(j=0,1,\cdots,7)$ 代表第3尺度分解8个结点的频率范围。设频带 S_{3j} 对应的能量为 E_{3j} ,有

$$E_{3j} = \int |S_{3j}(t)|^2 dt = \sum_{k=1}^n |x_{jk}|^2 \tag{2}$$

式中 $x_{jk}(k=1,2,\cdots,n)$ 表示 S_{3j} 的离散点幅值。

由于扰动信号出现时,会对各频带内信号的能量有较大的影响,所以,可以为元素构造一个特征向量 T :

$$T = [E_{30}, E_{31}, E_{32}, E_{33}, E_{34}, E_{35}, E_{36}, E_{37}] \tag{3}$$

当能量较大时, E_{3j} 通常是一个较大的值,在数据分析上会造成不便。因此,可对向量 T 进行归一化处理,令

$$E = \left(\sum_{j=0}^7 |E_{3j}|^2 \right)^{1/2} \tag{4}$$

归一后的向量 T' 为

$$T' = \left[\frac{E_{30}}{E}, \frac{E_{31}}{E}, \frac{E_{32}}{E}, \frac{E_{33}}{E}, \frac{E_{34}}{E}, \frac{E_{35}}{E}, \frac{E_{36}}{E}, \frac{E_{37}}{E} \right] \tag{5}$$

利用式(2)、式(4)、式(5)计算扰动信号,即可构造8个能量特征向量,特征向量的数据均转化为[0,1]之间的数,将其作为 PNN 网络的输入。选取一组计算后的能量值,见表2。

3.2 PNN 网络训练与测试

采用 Matlab 函数 newpnn() 来创建 PNN, 建立扰动信号分类程序,PNN 调用格式:

$$\text{net} = \text{newpnn}(\boldsymbol{P}, \boldsymbol{Q}, \text{SPREAD}) \tag{6}$$

式中: $\boldsymbol{P}$ 为输入向量; $\boldsymbol{Q}$ 为目标分类向量; SPREAD 为径向基函数的扩展速度。

式(6)表明扰动分类的准确率与训练样本数和

表2 不同信号归一化处理后的能量值

能量值	正常信号	电压骤升	电压骤降	电压中断	暂态脉冲	暂态振荡
E_{30}	0.974 3	0.974 0	0.973 9	0.973 6	0.973 8	0.992 0
E_{31}	0.225 3	0.226 7	0.226 9	0.228 4	0.227 6	0.126 1
E_{32}	0.002 2	0.002 3	0.002 1	0.002 1	0.002 3	0.005 8
E_{33}	0.001 6	0.001 4	0.002 3	0.002 5	0.001 3	0.006 2
E_{34}	1.11e-5	3.55e-5	2.25e-5	2.04e-5	3.56e-5	0.001 0
E_{35}	3.95e-6	3.23e-5	1.51e-5	1.46e-5	3.26e-5	0.000 1
E_{36}	1.09e-6	4.54e-5	3.92e-5	3.84e-5	4.47e-5	0.000 4
E_{37}	1.69e-5	7.57e-5	3.76e-5	3.41e-5	7.53e-5	0.000 9

参数 spread 值有关。将5种扰动信号分别设置不同的信号参数,每种不同的扰动信号都获得20组训练样本及5组测试样本,共得到100组训练样本和25组测试样本。将所有训练样本作为训练 PNN 的输入样本,利用测试样本对该网络进行测试。使用100组训练样本和25组测试样本的特征向量作为输入,用数字1—5分别代表5种不同的扰动信号,作为分类的输出。

利用 Matlab 软件平台对训练样本进行 PNN 训练及测试,spread 值选为0.9。PNN 训练后的分类结果及误差如图6所示,PNN 网络的测试样本分类结果如图7所示。

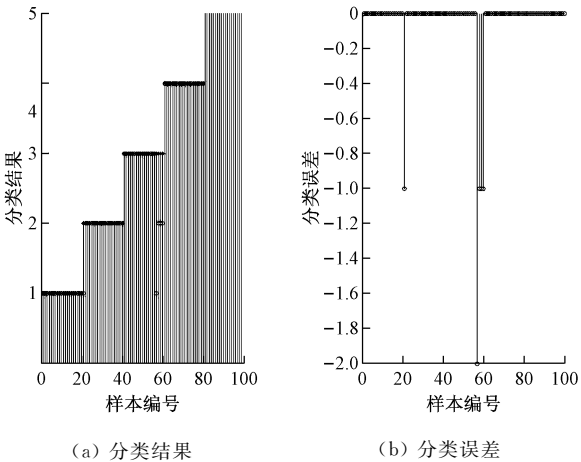


图6 PNN 训练后的分类结果及误差

由图6和图7可知,经过训练,将训练数据输入已经训练好的 PNN 网络中,只有5个样本出现判断错误,即总的判断准确率为95%。当通过预测样本进行验证时,只有1个样本出现了判断错误,即总的判断准确率为96%。经过训练后的 PNN 准确率表明,最后得到的网络可以用来对更多扰动信号进行分类预测。

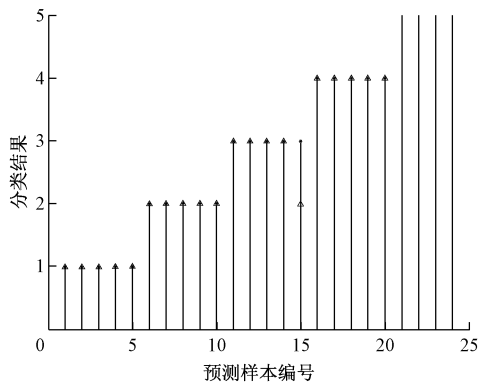


图 7 PNN 网络的测试样本分类结果

4 结语

针对动态电能质量扰动的定位与分类问题,首先阐述了利用小波包系数分解和重构原始信号并在高频尺度定位扰动信号的方法,然后说明了进行扰动信号能量计算和特征向量构造的过程,最后介绍了通过 PNN 对不同特征向量(即扰动信号)进行分类的方法。Matlab 仿真结果表明,该方法是可行的,具有一定的理论意义和实践价值。

参考文献:

[1] 宋雪雷. 基于小波变换和支持向量机的电能质量扰动分析方法[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.

[2] 王畅. 基于 HHT 的微网电能质量检测与分析[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.

[3] 徐永海, 赵燕. 基于短时傅里叶变换的电能质量扰动识别与采用奇异值分解的扰动时间定位[J]. 电网技术, 2011, 35(8): 174-180.

[4] 黄振威, 郑寿森, 祁新梅, 等. 基于 db4 小波变换和双 ARM Cortex-M 的电能质量分析系统[J]. 电测与仪表, 2013, 50(1): 83-88.

[5] 刘慧芳, 陈勇胜, 王群, 等. 基于小波变换和模糊逻辑的暂态电能质量扰动分类[J]. 电网技术, 2008, 32(3): 84-87.

[6] 黄南天, 徐殿国, 刘晓胜. 基于 S 变换与 SVM 的电能质量复合扰动识别[J]. 电工技术学报, 2011, 26(10): 23-30.

[7] 王曦, 毕贵红, 祖哲. 基于递归特性分析和 BP 神经网络的电能质量扰动识别与定位[J]. 电网技术, 2012, 36(8): 215-222.

[8] 李志勇, 吴为麟, 林震宇. 基于相空间重构和支持向量机的电能扰动分类方法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(5): 70-75.

[9] 杨宁霞, 孙皓, 公政, 等. 一种基于 PSO-SVM 的电能质量扰动识别与分类的新方法[J]. 电测与仪表, 2014, 51(16): 17-20.

[10] 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]. 3 版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008: 33-37.