

张 帆, 韩晓明, 郝美仙, 等. 内蒙古阿拉善地区爆破和地震自动识别研究[J]. 华南地震, 2016, 36(3): 98–103. [ZHANG Fan, HAN Xiaoming, HAO Meixian, et al. Auto Identification of Explosion and Seismic Events in Alashan Area[J]. South china journal of seismology, 2016, 36 (3): 98–103.]

内蒙古阿拉善地区爆破和地震自动识别研究

张 帆, 韩晓明, 郝美仙, 张 晖

(内蒙古地震局, 呼和浩特 010051)

摘要: 结合使用基于统计的时空特征参数和基于小波分析的频谱特征参数, 使用 BP 神经网络对内蒙古阿拉善地区的地震和爆破进行自动识别。结果表明: 使用的方法可以得到较高的识别率。

关键词: 天然地震; 爆破; BP 神经网络; 小波分析; 自动识别

中图分类号: P315.31

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2016) 03-0098-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.03.014

Auto Identification of Explosion and Seismic Events in Alashan Area

ZHANG Fan, HAN Xiaoming, HAO Meixian, ZHANG Hui

(*Earthquake Administration of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010051, China*)

Abstract: Based on the statistical characteristics of space and time parameters and wavelet analysis, the paper develops a automatic program for identification between earthquakes and blastings by using the BP neural network. The paper uses the method in alashan area in Inner Mongolia, and the test results show that the method used in this article can get higher recognition rate.

Keywords: The Natural earthquake; Blasting; BP neural network; Wavelet analysis; Automatic identification

收稿日期: 2015-07-29

基金项目: 测震台网青年骨干培养专项(项目编号: 20140306); 地震科技星火计划(项目编号: XH14012Y)

作者简介: 张 帆(1980-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事地震观测和研究工作。

E-mail: spacelessness@163.com.

0 引言

地震自动定位和速报技术已经广泛应用与地震监测,虽然震相的模式识别已经较多研究成果,但应用较为有限,主要的限制是地震和爆破特征的复杂性和区域差异。在以往的监测实践中,事件类型的判别主要靠监测工作者的经验。事件分类的自动化,可以为监测人员提供有效的参考,提高地震监测的效率和质量。

国内外许多学者对天然地震和人工爆破的识别方法进行了广泛和深入的研究,已发现地震信号的时域,时频,谱和震相等方面的许多有用识别判据,如P波与S波的振幅比,P波初至,P波初至振幅与P波位移最大振幅比,震源深度,震级比,拐角频率,瞬态谱,波形相关性,功率谱,倒谱,谱比,卓越周期,复杂性等。获取了这些识别判据,即提取特征数据后,选择合适的识别算法就可以对待判事件进行识别分类,识别算法主要有神经网络、支持向量机、Fisher线性判别、最小距离法、Bayes方法、模糊模式识别方法等。

内蒙古阿拉善地区是天然地震和人工爆破较多地区,作者在前人成果的基础上,针对内蒙古阿拉善地区的天人地震和爆破事件,提取事件的时空参数和小波能量比,使用BP神经网络进行天然地震和爆破的自动分类,达到较高的识别率。

1 原理和方法

1.1 参数选取和算法

事件的波形中蕴含了震源的信息,天然地震和爆破事件在时间和空间分布上也有差异,为了对地震事件和爆破事件进行分类,首先要从事件参数和波形中提取有识别意义的参数,主要包括时间和空间特征参数和时域和频域特征参数。我们选取小波能量比作为反映波形特征的参数,此外选取震中位置、发震时刻作为时空特征参数。使用人工神经网络作为识别算法。

1.2 小波能量比的提取

小波变换的概念是由法国从事石油信号处理的工程师J.Morlet在1974年首先提出的,通过物理的直观和信号处理的实际经验的需要建立了反演公式,当时未能得到数学家的认可。早在七十年代A.Calderon表示定理的发现、Hardy空间的原子分解和无条件基的深入研究为小波变换的诞生

做了理论上的准备,而且J.O.Stromberg还构造了历史上非常类似于当前的小波基;1986年著名数学家Y.Meyer偶然构造出一个真正的小波基,并与S.Mallat合作建立了构造小波基的统一方法加多尺度分析之后,小波分析才开始蓬勃发展起来。它与Fourier变换、窗口Fourier变换(Gabor变换)相比,这是一个时间和频率的局域变换,因而能有效的从信号中提取信息,通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化分析(Multiscale Analysis),解决了Fourier变换不能解决的许多困难问题,从而小波变化被誉为“数学显微镜”,是调和分析发展史上里程碑式的进展。

为了详细的分解和提取事件波形的频谱特征和实现参数的自动提取,我们使用db4小波,进行四层小波变换对波形进行分解,并提取能量比参数,图1为小波分解例子。

若 s 为原始信号,其长度为 J ,信号采样点序号为 j , S_i 为信号 S 分解后的第 i 个小波系数,其长度为 K , k 为其样点序号,则定义小波系数的能量比(E_m)为:

$$E_m(i)=100\times\sum_{k=1}^k S^2(i,k)l\sum_{i=1}^J S_j^2 \quad (1)$$

分解得到的小波尺度能量谱反映信号的能量随尺度的变化情况,小波时间能量谱反映信号的小波能量沿时间轴的分布。

1.3 时间参数和空间参数的提取

经过对2008年至2014年内蒙古台网观测报告的统计分析,我们发现爆破事件在一天中各时段发生的比例分布比较不均匀,使用各时段发生的比例作为时间参数。表1为各时段爆破站总数比例。

图2为2008至2014年内蒙古地震台网记录的地震事件和爆破事件。可见,爆破事件发生在比较集中的几个区域,使用所要识别的事件位置附近过去记录到的爆破数作为空间特征参数。具体方法是计算震中半径 0.5° 内的爆破数。

1.4 分类和检验

人工神经网络也简称为神经网络,它是一种模仿动物神经网络行为特征,进行分布式并行信息处理的算法数学模型。这种网络依靠系统的复杂程度,通过调整内部大量节点之间相互连接的关系,从而达到处理信息的目的。BP神经网络是1986年由Rumelhart和McClland为首的科学家小

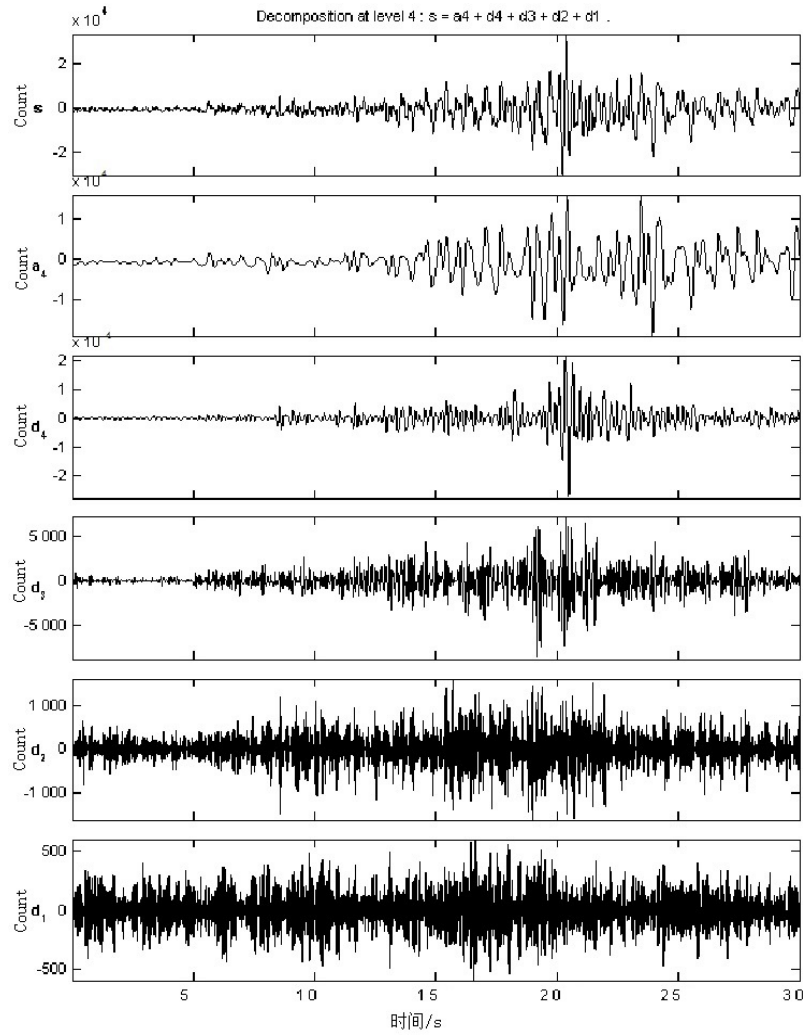


图 1 BYT 台 NS 向记录 4 层小波分解系数

Fig.1 Four layers wavelet decomposition coefficient of NS records of BYT site

表 1 各时段爆破比例

Table 1 Blasting proportion in each period

时段	比例	时段	比例	时段	比例
0	0.13	8	0.015 2	16	0.083 7
1	0.013 6	9	0.013 3	17	0.117 9
2	0.009 5	10	0.020 9	18	0.148 3
3	0.007 6	11	0.049 4	19	0.074 1
4	0.005 7	12	0.165 4	20	0.026 6
5	0.022 8	13	0.053 2	21	0.013 3
6	0.015 2	14	0.028 5	22	0.003 8
7	0.015 2	15	0.072 2	23	0.011 4

组提出，是一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络，是目前应用最广泛的神经网络模型之一。BP 网络能学习和存贮大量的输入-输出模式映射关系，而无需事前揭示描述这种映射关系的数学方程。它的学习规则是使用最速下降法，通过反向传播来不断调整网络的权值和阈值，使网络的

误差平方和最小。BP 神经网络模型拓扑结构包括输入层 (input)、隐层 (hidden layer) 和输出层 (output layer)。

使用 matlab 的神经网络工具箱实现自动识别功能，使用 BP 神经网络随机选取 500 条记录作为训练集，随机选取 200 条为测试集进行训练和识别，

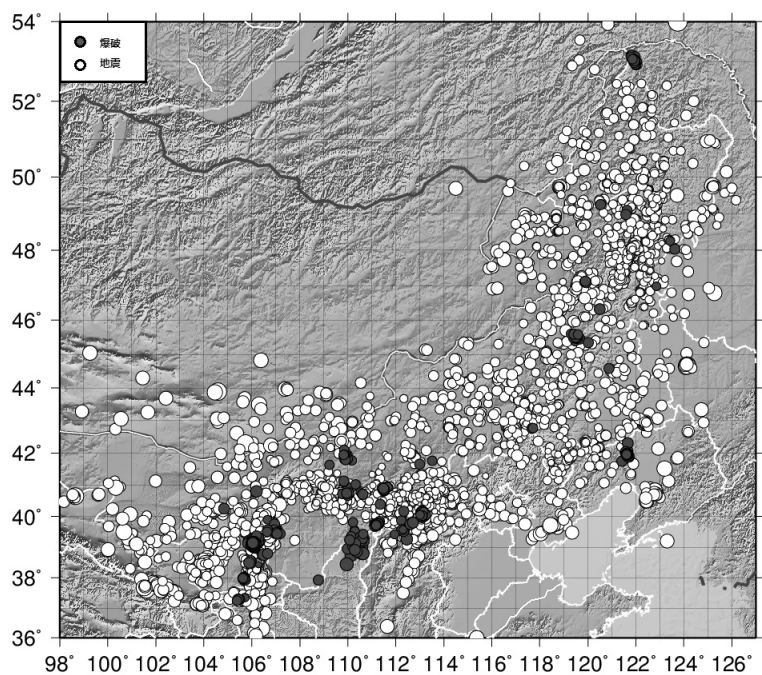


图 2 2008—2014 年内蒙古地区地震和爆破分布图

Fig.2 Distribution map of blastings and earthquakes in Inner Mongolia(2008–2014)

选取 `tansig` 作为训练函数。以选取的特征参数为输入，事件类型为输出，人工判定结果为指导，建立三层人工神经网络。通过随机抽样，在事件库中选取训练组和检验组，对网络进行训练并检验。

2 数据的搜集和整理

提取时空特征参数的数据为内蒙古地区 2008—2014 年观测报告。图 2 为地震事件和爆破

事件的分布图，由图中可见震分布较离散，在各地区均有分布，部分区域较集中；爆破分布较集中，主要分布在阿拉善左旗、宁夏和内蒙古东部部分区域。图 3 为爆破事件在一天中各时段的分布。

使用神经网络进行自动识别和测试的数据为阿拉善左旗地区的 190 个事件的 1 322 条记录，其中爆破记录 642 条，地震记录 680 条，提取时空参数和小波能量比参数。

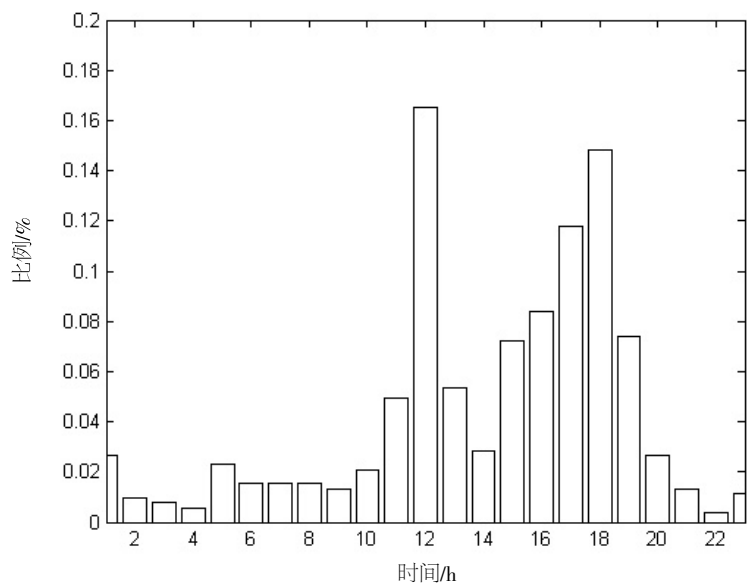


图 2 爆破事件在一天中各时段的分布

Fig. 2 Distribution of blasting events in each period of day

3 结果和检验

经过小波分析，每条记录得到 6 个小波能量比参数以及 2 个时空特征参数，选取不同的参数和输入测试识别效果。表 2 为选取不同的输入和不同的训练次数的识别率对比，由对比可知，添加了时空参数后识别率明显提高，仅使用小波能量比的识别率在 90%以下，添加时空参数后识别率提到到 95%以上。添加时空参数后，训练次数在 500 时，识别最高，为 97.5%。图 4 为随机选取 50 条记录经过 500 次训练的检验结果。

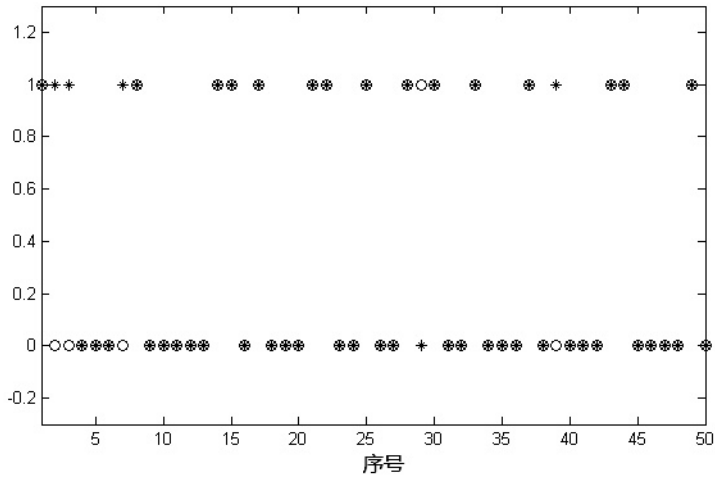
4 结语

结合使用基于统计的时空特征参数和基于小波分析的频谱特征参数，使用 BP 神经网络对内蒙古阿拉善地区的地震和爆破进行自动识别，测试结果表明在本文中使用的可以得到较高的识别率。本文使用的特征参数由地震台网的观测报告和记录的事件波形提取，并对神经网络进行训练，因此避免了区域差异对识别造成的影响。

相对于地震事件，爆破事件分布较集中，震源位置附近已发生爆破的数量可以作为爆破和地

表 2 不同输入和参数的识别正确率
Table 2 Identification accuracy of different input and parameters

训练输入	训练次数	识别率正确率/%
仅使用小波能量比	50	87.0
仅使用小波能量比	100	88.5
仅使用小波能量比	500	87.5
仅使用小波能量比	1 000	89.0
使用小波能量比和时空参数	50	97.5
使用小波能量比和时空参数	100	96.0
使用小波能量比和时空参数	500	97.5
使用小波能量比和时空参数	1 000	95.5



(圆圈为事件实际类型，星号为识别结果，值为 1 表示地震，值为 0 表示爆破，识别率为 95%)

图 4 50 条记录的识别测试结果

Fig.4 Identification results of 50 records

震分类的辅助判别依据。爆破事件在一天各时段发生的比例分布比较不均匀，在中午 12:00 和下午 17:00 至 18:00 发生比例较大，事件所在时段曾经发生爆破占爆破总数的比例可以作为爆破和地震分类的辅助判别依据^[3]。

使用小波分解后的能量比系数和 bp 神经网络

可以较好的对地震和爆破进行分类，仅使用小波能量比作为输入，识别率达到 87%以上。使用小波分解后的能量比系数和时空参数作为输入，bp 神经网络的识别率有显著提高，达到 95%以上。

参考文献:

- [1] G.R. Dargahi-Noubary. Statistical estimation of corner frequency and its application to seismic event identification[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1998, 17: 297-309.
- [2] Dargahi-Noubary G R. Discontinuity between gaussian time series based on their spectral differences [J]. Communications in Statistics -Theory and Methods, 1992, 21 (9): 2 439-2 458.
- [3] Craig A. Schultz, Stephen C. Myers. Nonstationary Bayesian kriging: a predictive technique to generate spatial corrections for seismic detection, location and identification [J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1999, 113: 321-338.
- [4] 郑秀芬, 傅瑞. 小爆破的识别与判据[R].北京: 中国地震局地球物理研究所, 2001.
- [5] 张春贺, 郑秀芬, 许绍燮, 等. 周期-频度谱在小爆破自动识别研究中的应用[J]. 地震地壳观测和研究, 2006, 27 (5): 24-28.
- [6] 边银菊. 遗传 BP 网络在地震和爆破识别中的应用[J]. 地震学报, 2002, 24 (5): 516-524.
- [7] 卢世军, 黄汉明. 基于能量比的天然地震与人工爆破自动识别算法研究[J]. 华南地震, 2010, 30 (1): 34-39.
- [8] 杨选辉, 沈萍, 刘希强. 地震与核爆识别的小波包分量比方法[J]. 地球物理学报, 2005, 48 (1): 148-156.
- [9] 李发, 张佑龙, 汪贵章, 等. 安徽及周边地区小爆破的识别与判据研究[J]. 华北地震科学, 2012, 30 (2): 43-47.
- [10] 刘芳, 苗春兰, 高艳玲. 内蒙古中西部地区尾波 Q 值研究[J]. 地震, 2007, 2 (27): 72-80.
- [11] 刘芳, 朱智勇. 内蒙古中西部地区的中小地震震源参数[J]. 华北地震科学, 2007, 25 (2): 10-14.
- [12] 韩晓明, 张建中, 薛丁, 等. 呼和浩特-包头地区平均波速比研究[J]. 中国地震, 2010, 26 (4): 418-425.
- [13] 霍祝青, 王 俊, 张金川, 等. 江苏地区天然地震与人工爆破识别研究[J]. 地震工程学报, 2015, 37 (1): 232-234.