

# 基于短时能量和小波去噪的枪声信号检测方法

张克刚,叶湘滨

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 长沙 410073)

**摘要:**随着战争的发展,枪声定位系统在战场上的作用越来越大。作为枪声定位系统的前提条件,枪声信号检测成为了该项目研究的重中之重,目前的检测方法对于背景噪声的要求往往过高。文章中,将短时能量和过零率检测方法,应用在枪声信号检测当中,同时增加了持续时间检测和小波去噪。经过对现场采集的不同噪声背景下的数据处理,成功实现了对枪声信号的检测。通过实验证明了该方法能够实现在不同背景噪声条件下的枪声信号检测。

**关键词:**枪声定位;枪声信号检测;持续时间检测;小波去噪

中图分类号:TM932

文献标识码:B

文章编号:1001-1390(2015)00-0130-03

## A method of the gunfire signal detecting based on short-time energy and wavelet denoising

Zhang Kegang, Ye Xiangbin

(The Institute of Electromechanical Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:**With the development of the war, the gunfire position system is more and more important in the battlefield. As the precondition of gunfire positioning system, sound signal detection has become the top priority of the project, and the current detection method often needs high requirement of background noise. In the paper, the short-time energy and zero crossing rate detecting will be used in the signal detection of gunfire, meanwhile the duration of detection and the wavelet denoising is increased. Through processing the data collected on the scene in the different background noise, it detected the gunfire signal successfully. The experiment show that the method could be realized the signal detection of gunfire in different background noise.

**Key words:** gunfire positioning, gunfire signal detection, test of the duration, wavelet denoising

### 0 引言

随着科技的进步和战争形势及战场环境的变化,狙击手的危害越来越大。快速准确的对狙击手进行定位,并实施有效的反击和压制能够对战斗的发展产生巨大的影响。目前,狙击手定位系统主要有三种形式:激光定位系统、红外定位系统和枪声定位系统。其中,枪声定位系统以其定位快速、系统简单、可靠性强等优势成为目前主要的定位系统。枪声定位系统主要是通过检测狙击枪射击时产生的两种枪声信号,枪口爆破波和弹道震荡波,根据其到达的时间差,利用几何关系进行定位<sup>[1][2][3]</sup>。因此,枪声定位系统当中,能够精确的对枪声信号进行检测和识别成为系统的关键。

目前的枪声信号检测技术,主要包括信号的时域

检测技术、信噪比技术以及背景噪声检测技术等<sup>[4]</sup>。其中,时域检测技术对于信号的质量要求较高,不能有过大干扰;信噪比技术对于其他声波信号的抗干扰能力较差;背景噪声技术,对于检测环境一致性条件要求较高<sup>[5]</sup>。本文主要针对非战场环境下的枪声信号检测,即只有单一的枪声信号,利用端点检测技术,首先采样信号进行短时能量检测确定有无信号之后,利用小波去噪技术对采样信号进行进一步的处理,检测其过零率,从而实现枪声信号的检测识别。通过实验表明,该方法实现了在不同背景噪声条件下的枪声信号检测<sup>[6]</sup>。

### 1 短时能量及小波去噪

#### 1.1 短时能量

短时能量就是利用采样信号随着时间的推移,采

样值在不断变化;同时在**没有枪声信号只有背景噪声**时,采样信号的能量值一般都较小,而**枪声信号的能量一般都较大**。因此可以通过短时能量法对采样信号有**无信号进行初步的处理**。

短时能量法首先是以类似加窗的方法将信号进行分帧处理,计算其能量并作为当时的短时能量<sup>[7]</sup>。同时,以确定的步长不断向前移动,分别**计算其短时能量**,其能量表示为:

$$En = \sum_{n=1}^N x_i^2 \quad (1)$$

其中,  $En$  为信号的短时能量,  $N$  为加窗的长度,  $x$  为信号的采样值。

根据预先设定的阈值,就可以大致判断采样信号中枪声信号的有无。图1为采集的一个枪声信号及其短时能量图,其中图(a)为信号的时域波形,图b为相对应的通过窗宽为300、步长100计算得到的短时能量图,图c为经过阈值处理的信号能量逻辑图。

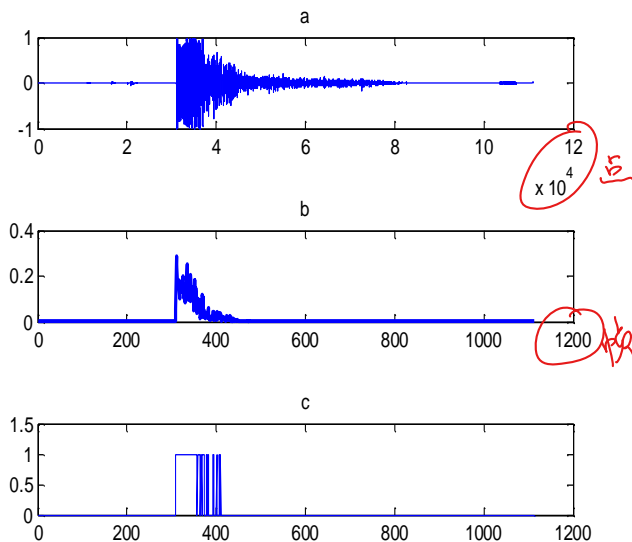


图1 单一枪声信号及其能量图

Fig.1 The single gunfire and the energy diagram

## 1.2 小波去噪

**小波变换**就是利用短时傅里叶变换的方法,将信号利用滑动窗切割成为小段的间隔,用傅里叶方法分别分析每一小段的信号,这样就能够得到每一小段时间内信号的频域特征<sup>[8][9]</sup>。

$$STFT(\omega, \tau) = \int x(t)w(t-\tau)e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

其中,  $\tau$  为移位因子,  $\omega$  为角频率,  $\omega(t-\tau)$  为延时窗。设  $x(t) \in L^2(R)$ ,  $\psi(t)$  是基本小波或者母小波函数,则称下式为函数  $x(t)$  的连续小波变换,即

$$WT_x(a, b) = \langle x(t), \psi_{ab}(t) \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int x(t) \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

其中,  $a > 0$ , 为尺度因子;  $b$  为时间位移(或平移参数),其值可正可负;符号  $\langle \cdot \rangle$  表示内积。同时设  $\psi(t) \in L^2(R)$ ,  $\psi(t)$  的傅里叶变换为  $\Psi(\omega)$ , 只有当  $\Psi(\omega)$  满足容许条件时,即

$$C_\psi = \int_R \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (4)$$

才能由  $WT_x(a, b)$  反演出原始函数  $x(t)$ 。实际的小波变换主要是利用小波函数对信号进行不断的分解,得到相应的高频和低频部分;下一层对低频部分再次进行相同的分解。小波变换的信号分解图,如图2所示。这样就得到了一系列相对应的高频和低频小波系数。由于枪声信号的主要特征集中在低频部分,而噪声主要集中在高频部分,因而**小波去噪一般选择适当的阈值对小波变换的高频小波系数进行处理**,并根据处理结果来重构信号。

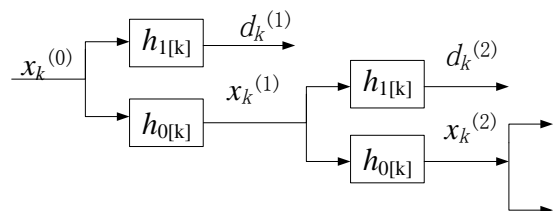


图2 小波变换信号分解图

Fig.2 Wavelet transform signal decomposition

## 2 实验结果及分析

本文采用的是在靶场现场录制的枪声信号进行实验,以此来对本文的算法进行检测,采样频率4.41kHz,窗口宽度取300点,步长100点。分别选取弱噪声背景下的一声枪声信号、多声枪声信号以及强噪声背景下的一声枪声信号进行实验。为防止由于信号采集距离引起的信号幅值的不同,实验中的阈值选取采用自适应方法选取,根据每一段信号能量的最大值和最小值实时更新能量阈值。具体的阈值原则为:

$$THR = \min(En) + 0.2[\max(En) - \min(En)] \quad (5)$$

其中,  $Thr$  为能量阈值,  $En$  为信号能量,  $\min(*)$  表示求最小值,  $\max(*)$  表示求最大值。通过阈值检测,得到初步的信号时间点之后,进行信号的持续时间及过零率的检测,最终实现枪声信号的检测。**持续时间处理方法**:

$$a = \begin{cases} 0 & T < t_0 \\ 1 & T \geq t_0 \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $a$  为经过阈值处理的能量的逻辑值,  $T$  为  $a$  持续正值的时间,  $t_0$  为设定的持续时间的阈值。**枪声信号正值的持续时间大约为0.5ms**,采样频率为44.1kHz,所以持续时间阈值设定为**20个采样点**。当经过处理的逻辑值的正值持

续时间小于设定阈值时,则对其进行置零处理。枪声信号处理实验的步骤如下:

- (1)对信号进行分帧并计算短时能量;
- (2)根据短时能量,对信号进行持续时间处理;
- (3)对信号进行小波去噪,计算其过零率。

实验结果如图3,图4,图5所示,分别为弱噪声背景下的一声枪声信号、多声枪声信号以及强噪声背景下的一声枪声信号的处理结果。其中,第一张小图为信号的时域波形,第二张为计算短时能量并通过阈值处理的波形,第三张为经过持续时间处理的波形,第四张为小波去噪之后的结果。

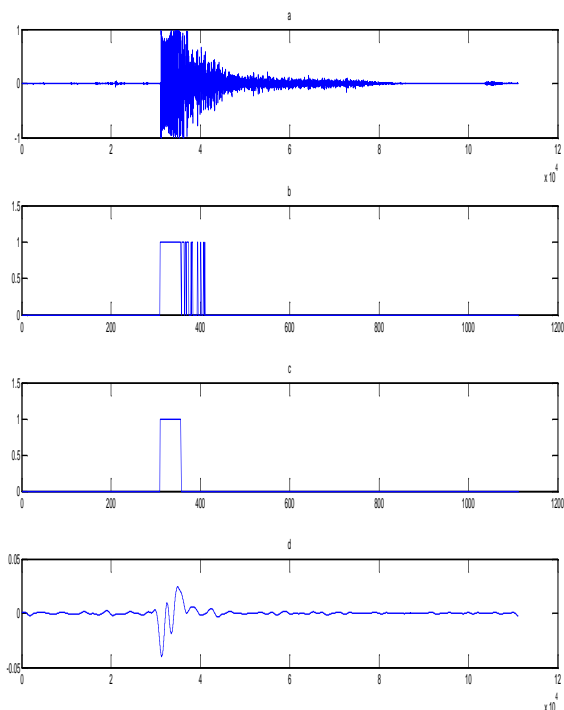


图3 弱背景噪声下的单声枪声信号

Fig.3 Single gunfire at the weak noise background

由实验结果可以看出,信号在未处理之前含有大量的噪声,很难判断是否为枪声信号;计算信号的短时能量并经过阈值处理之后,能够去除大部分的小噪声;再次通过持续时间处理之后,去除了瞬时大能量噪声;最终经过小波去噪并进行过零率计算,最终确定是否为枪声信号。本算法在不同的环境条件下,都能够很好的实现枪声信号的检测任务。在弱噪声背景下能够清晰的提取出枪声信号;在强噪声背景下,通过多步处理,最终也能够去除背景噪声的干扰,得到实验结果。

### 3 总结和展望

本文将短时能量检测和过零率检测方法成功应用在枪声信号检测实验当中,同时增加持续时间处理和小波去噪,从而成功实现了在不同背景噪声条件下的枪声信号检测。但是本文的处理方法都是在电脑上实现,最终达到实用结果还必须搭载在嵌入式系统当中,下一步将

在这方法进行进一步的研究。

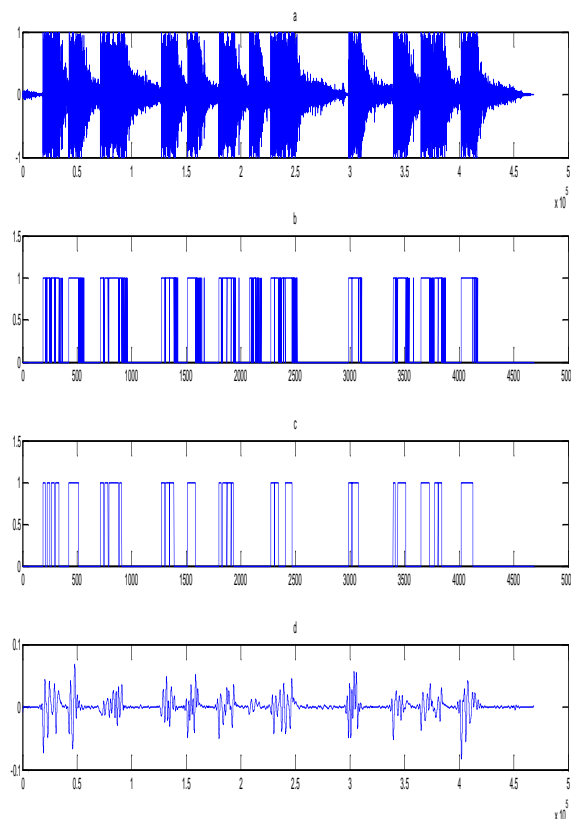


图4 多声枪声信号

Fig.4 Multiple gunfire signal

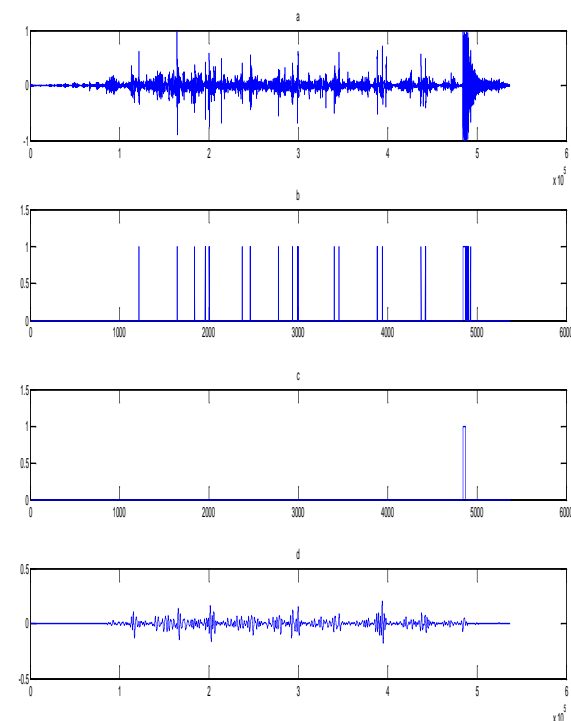


图5 强背景噪声下的单声枪声信号

Fig.5 Single gunfire at the strong noise background

(下转第138页)

- [3] Ahmed Zoha, Alexander Gluhak, Muhammad Ali Imran, Sutharshan Rajasegarar. Non-intrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: a survey[J]. Sensors, 2012, 12: 16838-16866.
- [4] Jian Liang, Simon K. K. Ng, Gail Kendall, John W. M. Cheng. Load signature study—Part I: basic concept, structure, and methodology[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25(2): 551-560.
- [5] Yi Du, Liang Du, Bin Lu, Ronald Harley, Thomas Habetler. A review of identification and monitoring methods for electric loads in commercial and residential buildings[C]. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010: 4527-4533.
- [6] Dawei He, Liang Du, Yi Yang, Ronald Harley, Thomas Habetler. Front-end electronic circuit topology analysis for model-driven classification and monitoring of appliance loads in smart buildings[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(4): 2286-2293.
- [7] H. Y. Lam, G. S. K. Fung, W. K. Lee. A novel method to construct taxonomy of electrical appliances based on load signatures[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2007, 53(2): 653-660.
- [8] Hsueh-Hsien Chang, Lung-Shu Lin, Nanming Chen, Wei-Jen Lee. Particle-swarm-optimization-based nonintrusive demand monitoring and load identification[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2013, 49(5): 2229-2236.

- [9] Hsueh-Hsien Chang. Non-intrusive demand monitoring and load identification for energy management systems based on transient feature analyses[J]. Energies, 2012, 5: 4569-4589.
- [10] Hsueh-Hsien Chang, Kuo-Lung Lian, Yi-Ching Su, Wei-Jen Lee. Power-spectrum-based wavelet transform for nonintrusive demand monitoring and load identification[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2014, 50(3): 2081-2089.

作者简介:



朱德省(1963—),男,电力工程博士,从事电能计量方面的研究。

尹建丰(1964—),男,高级工程师,从事智能计量和通信方面的研究。  
周琨荔(1989—),男,研究生,从事非侵入式负荷监测方面的研究。

收稿日期:2015-05-21;修回日期:2015-06-26  
(李昂 编发)

(上接第132页)

### 参考文献

- [1] 王宇. 枪声定位系统的设计与实现[D]. 哈尔滨工程大学, 2012.  
Wang Yu. Design and Realization of Gunshot Location System[D]. Harbin Engineering University, 2012.
- [2] 傅中华. 基于节点交互的狙击手定位算法研究与交互接口设计[D]. 北京交通大学, 2011. DOI:10.7666/d.y1963320.  
Fu Zhonghua. Research of Sniper Localization Algorithm Based on Node Interaction and Design of Interaction Interface[D]. Beijing Jiaotong University, 2011. DOI:10.7666/d.y1963320.
- [3] 李鹏. 基于马赫波的狙击手定位算法研究及仿真[D]. 北京交通大学, 2011.  
Li Peng. Sniper Location Algorithm Research Based on Shock Wave and Emulation[D]. Beijing Jiaotong University, 2011.
- [4] Sallai J, Hedgecock W, Volgyesi P, et al. Weapon Classification And Shooter Localization Using Distributed Multichannel Acoustic Sensors [J]. Journal of Systems Architecture, 2011, 57(10):869 - 885.
- [5] Mäkinen T, Pertilä P. Shooter localization and bullet trajectory, caliber, and speed estimation based on detected firing sounds ☆ [J]. Applied Acoustics, 2010, 71(10):902 - 913.
- [6] 黄晓斌, 刘海涛, 万建伟等. 强噪声背景下基于子空间的盲信号提取 [J]. 电子与信息学报, 2006, 28(11):2037-2040.  
Huang Xiaobin, Liu Haitao, Wan Jianwei et al. Blind Signal Extraction Based on Subspace over High Noise Source Background[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006, 28(11):2037-2040.

- [7] 雷文钊. 复杂环境下高效端点检测算法研究及应用[D]. 厦门大学, 2014.  
LEI Wen-tian. Research of Application of Efficient Endpoint Detection under Complex Environment[D]. Xiamen University, 2014.
- [8] 陈翔, 魏明, 王雷等. 静电放电能量耦合建模数据的小波去噪[J]. 仪表技术, 2010, (3):22-24. DOI:10.3969/j.issn.1006-2394.2010.03.008.  
Chen Xiang, Wei Ming, Wang Lei, et al. Signal Wavelet Denoise of Electrostatic Energy Coupling Modeling[J]. Instrumentation Technology, 2010, (3):22-24. DOI:10.3969/j.issn.1006-2394.2010.03.008.
- [9] 文莉, 刘正士, 葛运建. 小波去噪的几种方法[J]. 合肥工业大学学报, 2002, 25:167-172. DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2002.02.002.  
Wen Li, Liu Zheng-shi, Ge Yunjian. Several methods of wavelet denoising[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2002, 25:167-172. DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2002.02.002.

作者简介:



张克刚(1990—),男,汉族,硕士研究生,从事传感技术的研究。

叶湘滨(1963—),男,汉族,教授,从事传感技术的研究。

收稿日期:2015-06-11;修回日期:2015-07-07  
(李昂 编发)