

基于 Fast ICA 算法的 2 种储粮害虫活动声信号识别

张明真 郭 敏

陕西师范大学计算机科学学院, 西安 710062

摘要 利用快速独立分量分析(fast independent component analysis, Fast ICA)算法,对混有高斯噪声的 2 种储粮害虫玉米象 *Sitophilus zeamais* 和赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* 的活动声信号进行去噪,并使用 Fast ICA 算法识别和分离了 2 种储粮害虫爬行与翻身的 4 种活动声信号,证明了使用 Fast ICA 算法识别混合信号中每种害虫声信号的有效性和准确性。

关键词 储粮害虫; 声信号; Fast ICA 算法; 识别

中图分类号 S 433.5; TP 23 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)06-0778-05

粮食在储藏中会遭受巨大损失。早期发现和识别储粮害虫并采取针对性防范措施已是安全储粮的重要任务。粮食在储藏中会同时滋生多种害虫,不同害虫产生不同活动声信号,通过识别声信号检测出不同储粮害虫,可以及时采取有效措施,最大限度地减小储粮损失。

已有的研究表明,利用声检测方法能有效提取储粮害虫声信号特征,并验证了声检测方法识别储粮害虫种类的可行性和有效性。Hagstrum 等^[1]使用声检测方法分别检测小麦中 5 种储粮害虫,通过比较声脉冲数概率分布的差异可分辨 5 种害虫。Coggins 等^[2]利用人工神经网络方法提取小麦中米象活动声信号的时域特征,成功对米象幼虫咀嚼声、成虫咀嚼和爬行声、麦粒沉降声及外部噪声 4 种声信号进行了分类。韩萍^[3]利用传感器采集粮仓中玉米象、米象和赤拟谷盗的声音信号,经过降噪、归一化处理和提取特征,最后利用 BP 神经网络识别 3 种储粮害虫声音。唐发明等^[4]提出一种基于支持向量机的识别算法,对 6 种常见仓储害虫的吃物、爬行、飞行等声音信号提取特征向量,并构造多个支持向量机进行识别。Fleurat-Lessard 等^[5]用声检测法采集粮堆害虫的活动信号,利用声谱处理技术分析成虫和幼虫信号谱,并用分类算法对信号进行分类,可识别害虫的不同生长阶段。韩萍等^[6]采集 3 种储粮害虫幼虫的咬食声信号,并利用人工神

经网络对信号特征进行了分类。

笔者在前人研究工作的基础上^[1-15],利用快速独立分量分析(fast independent component analysis, Fast ICA)算法对混有高斯噪声的储粮害虫活动声信号进行去噪,并使用 Fast ICA 算法识别和分离了玉米象和赤拟谷盗害虫的爬行与翻身振动声信号,证明了使用 Fast ICA 算法识别混合信号中每种害虫声信号的有效性和准确性,旨在为实现储粮害虫的自动化检测和有效防控提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 ICA 算法

ICA 是一种新的多维信号处理方法,其基本思想是通过分析多维观测数据间的高阶统计相关性,找出相互独立的隐含信息成分,完成分量间高阶冗余的去除及独立信源的提取。

从观测信号中分离统计独立的信源 s , 计算其估计值 y :

$$s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}^T$$
$$y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\} \quad (m \geq n)$$

每个源信号均为随机变量,最多有 1 个源信号是高斯信号。以 $A(m \times n)$ 表示混合矩阵,则 ICA 模型可表示为 $x = As$, 其中源信号 s 为隐藏变量,ICA 仅利用观测信号 x 的信息,估计混合矩阵 A 和独立成分 s_i 。分离矩阵 $W = A^{-1}$, 估计源信号 s 的

收稿日期: 2012-04-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(10974130)和陕西省教育厅科研计划项目(11JK0519)

张明真, 硕士研究生。研究方向: 数字信号处理及模式识别。E-mail: mingzhenz@stu.snnu.edu.cn

通讯作者: 郭 敏, 博士, 教授。研究方向: 数字信号处理及模式识别。E-mail: guomin@snnu.edu.cn

方法为 $y = Wx$ 。

ICA 算法的原理如图 1 所示。

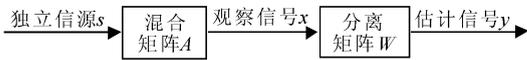


图 1 ICA 算法原理图

Fig. 1 Schematic diagram of ICA algorithm

1.2 Fast ICA 算法

Fast ICA 算法由 ICA 算法发展而来,通过采用批处理方式,具有收敛速度快、便于应用、所需内存小等优点,其方法明显优于 ICA 算法,并得到了快速发展。

Fast ICA 算法在估计多个分量时,首先对观测信号进行中心化和白化,简化算法,减少参数,缩小工作量。中心化即去除观察信号 x 的平均值,使 x 为零均值矢量。然后对 $x = As$ 两边同时求期望,使独立矢量 s 为零均值矢量。白化是在信号中心化后对信号进行线性变换,使变换后信号的各分量互不相关,且各分量的方差均为 1^[8]。

Fast ICA 算法流程的 7 个步骤^[9]:

- (1) 对观测数据 x 进行中心化,使其均值为 0;
- (2) 对数据进行白化,白化后的矢量记为 z ;
- (3) 选择需要估计的分量的个数 m , 设迭代次数为 k ;
- (4) 选择初始权矢量 W_k , 然后令 $W_k = E\{zg(W_k^T z)\} - E\{g(W_k^T z)\}W_k$;
- (5) 计算 $W_k = W_k - \sum_{j=1}^{k-1} (W_k^T W_j) W_j$, 然后令 $W_k = \frac{W_k}{\|W_k\|}$;
- (6) 若 W_k 不收敛,返回第(5)步;
- (7) 令 $k = k + 1$, 如果 $k \leq m$, 返回第(4)步。

1.3 数据采集与分析

1) 声信号采集。采集储粮害虫声信号所用器材包括:计算机 1 台、MAYA 声卡、Shure 麦克风、隔音箱、塑料薄膜、长方形纸盒、2 种储粮害虫玉米象 *Sitophilus zeamais* 和赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* 成虫若干。

隔音箱的长、宽、高均为 60 cm,隔音箱木板厚度为 7.2 cm,2 层木板之间填充满隔音棉。将薄膜平铺在挖去上下底的纸盒上,然后用支架支撑纸盒,置于麦克风上方 2~3 mm 处。

玉米象和赤拟谷盗成虫样品从陕西省西安市大居安村农村储粮点统一收集,饲养于温湿度适宜的

实验室中,所有害虫样品经陕西师范大学生命科学院鉴定后供试。

录音在隔音箱中进行,录音时将每只昆虫置于薄膜上,待昆虫开始爬行或翻身振动后开始录音,每次录音持续 30 s,采样频率为 11 065 Hz。整个录音过程中,温度为 23.4 °C,湿度为 52%。

2) 声信号特征分析。使用 Matlab 软件绘出 2 种储粮害虫玉米象和赤拟谷盗爬行与翻身 4 种活动声信号的波形(图 2)。

由图 2 可知:玉米象的爬行信号脉冲振幅很小,脉冲比较分散;翻身振动信号脉冲也比较分散,且各个脉冲互不相连。赤拟谷盗的爬行信号振幅相对较大,脉冲比较密集;翻身振动信号脉冲比较密集,脉冲串相互连接。根据害虫每种活动声信号特征,可利用 Fast ICA 算法分离各信号的混合信号,并识别分离后的每种声信号。

2 结果与分析

2.1 Fast ICA 算法去噪

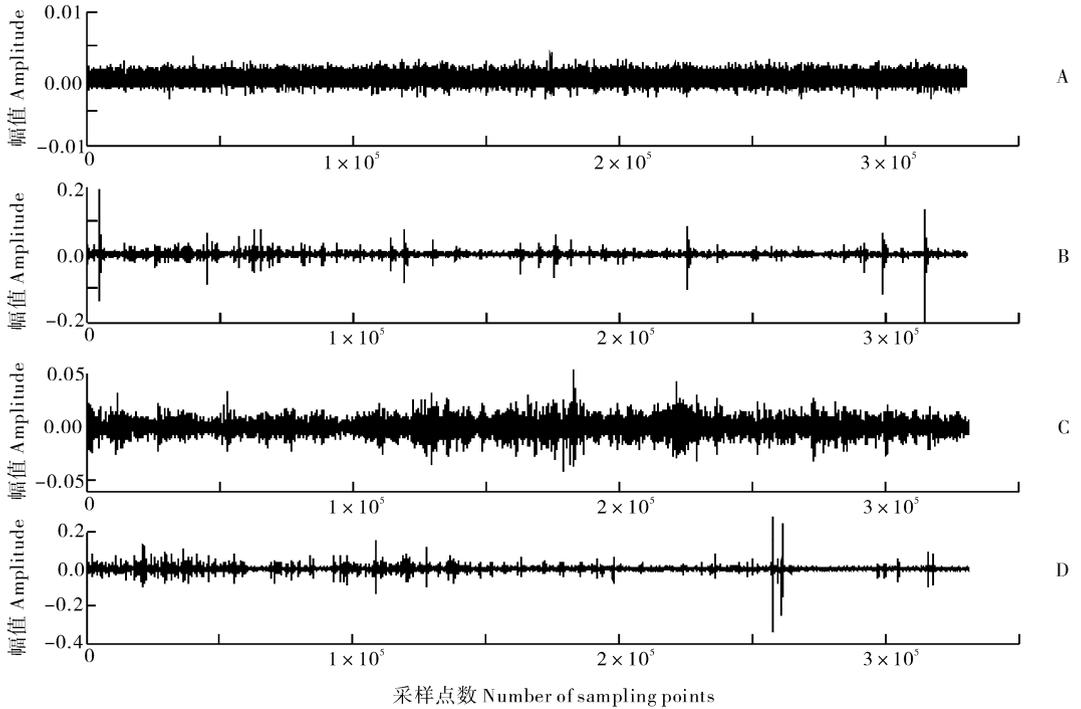
采集的储粮害虫活动声信号中不可避免夹杂环境噪声,干扰并影响声信号特征分析。噪声信号特征与声信号特征有显著差别,利用 Fast ICA 算法可区分噪声与声信号,去除声信号中混合的噪声。

选取赤拟谷盗翻身振动信号为源信号(图 3-A),对源信号加入信噪比为 40 的高斯噪声得到混合信号后(图 3-B),高斯噪声已基本覆盖源信号。通过 Fast ICA 算法提取源信号特征,可去除源信号中夹杂的高斯噪声(图 3-C)。由图 3 可知,Fast ICA 算法较好地除去了夹杂在活动声信号中的噪声,恢复了源信号。

2.2 Fast ICA 算法识别声信号

选用图 2 所示的玉米象和赤拟谷盗爬行信号和翻身振动信号作为输入的源信号,利用 4 个源信号数据产生一个四阶矩阵,与随机产生的四阶矩阵 A 矩阵相乘,产生新的四阶矩阵,即 4 个源信号混合后的观察信号数据矩阵(图 4)。

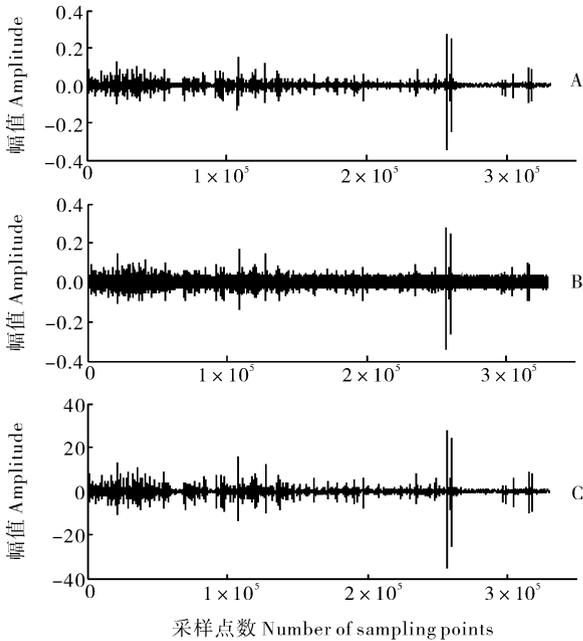
经线性混合后,各信号特征相互交叉,失去原有信号特征,在视觉上无法区分每个信号。Fast ICA 方法首先对混合信号进行白化和中心化,减小运算量,然后提取 4 个信号特征获得各信号的独立分量,即源信号的估计信号(图 5)。



A. 玉米象爬行信号 Creeping signal of *Sitophilus zeamais*; B. 玉米象翻身振动信号 Vibratory signal of *Sitophilus zeamais*;
C. 赤拟谷盗爬行信号 Creeping signal of *Tribolium castaneum*; D. 赤拟谷盗翻身振动信号 Vibratory signal of *Tribolium castaneum*.

图 2 玉米象和赤拟谷盗的爬行和翻身振动信号

Fig. 2 Creeping and vibratory signals of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*



A. 赤拟谷盗翻身振动信号 Vibratory signal of *Tribolium castaneum*; B. 含噪赤拟谷盗翻身振动信号 Vibratory signal of *Tribolium castaneum* with noise; C. 赤拟谷盗翻身振动信号的估计信号 Estimated signal of *Tribolium castaneum* vibratory signal.

图 3 Fast ICA 算法的去噪

Fig. 3 De-noising process of Fast ICA algorithm

对比分析图 2 和图 5, 可以看出:

I. 图 5-A 和图 5-B 中波的幅值大于图 5-C 和图 5-D, 为储粮害虫的翻身振动信号的估计信号; 图 5-C 和图 5-D 为储粮害虫爬行信号的估计信号。

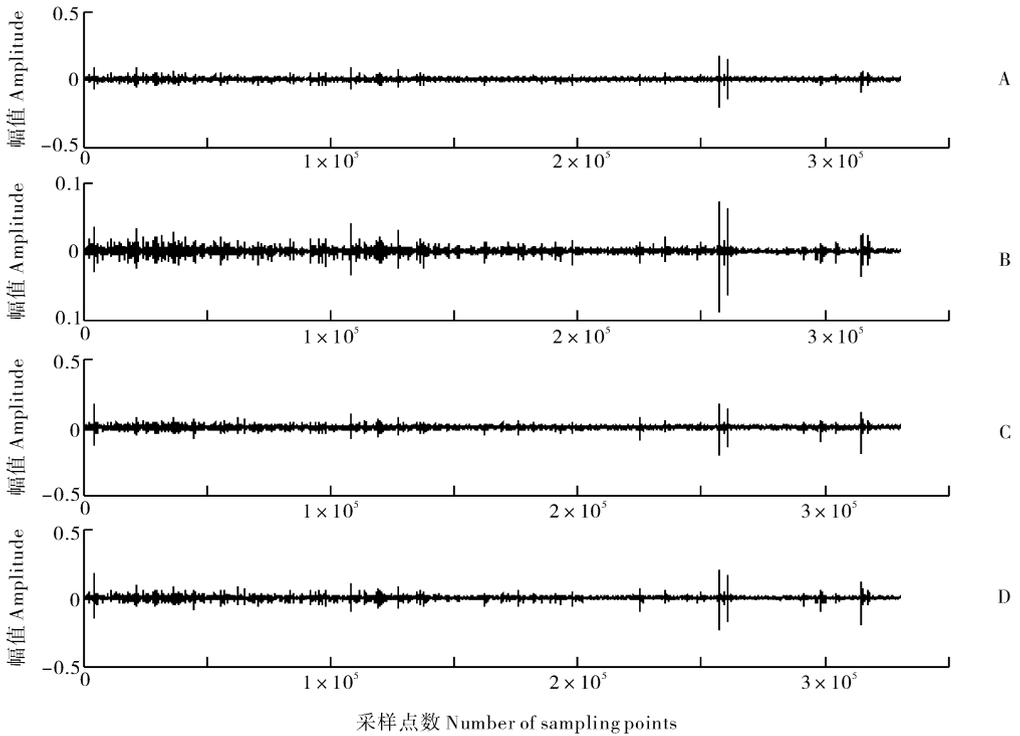
II. 图 5-A 较图 5-B 估计信号波中心的脉冲密集, 为赤拟谷盗的翻身振动信号; 图 5-B 估计信号的脉冲比较稀疏, 为玉米象的翻身振动信号。

III. 图 5-C 中信号波形较图 5-D 振幅大, 为赤拟谷盗的爬行信号; 图 5-D 信号波形比较平坦, 信号微弱, 为玉米象爬行信号。

由此可见, Fast ICA 算法所得估计信号正确反映了实际信号的特点, 使用 Fast ICA 算法成功区分和识别了玉米象和赤拟谷盗的爬行和翻身振动信号。虽然 Fast ICA 算法的输出具有随机性, 输出信号顺序有所改变, 但各估计信号基本保持了源信号特性。通过将估计信号归一化, 即可得到同源信号能量大小一致的估计信号。

3 讨论

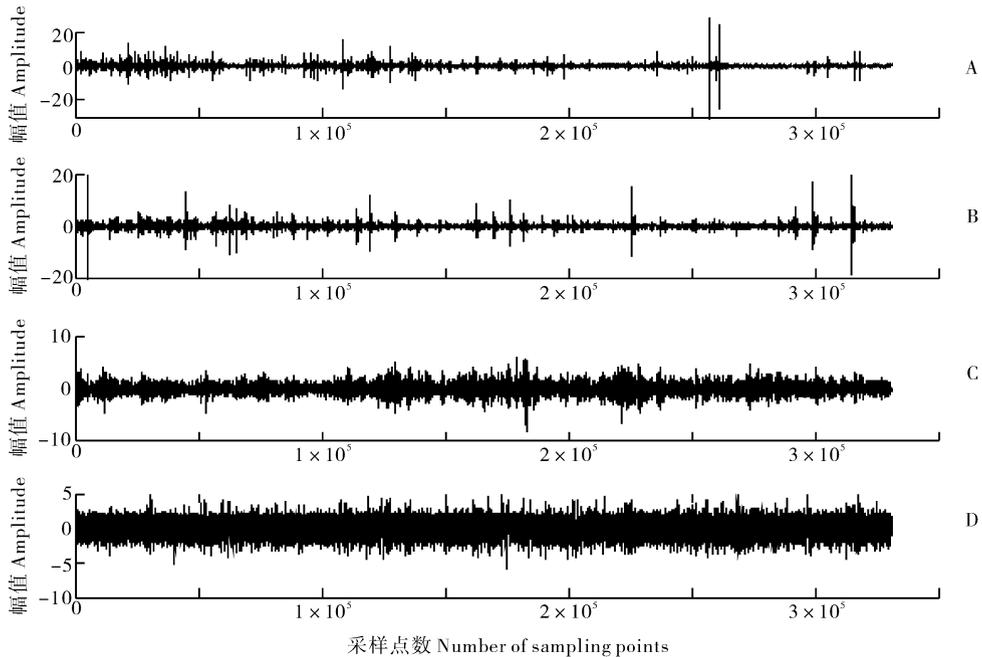
储粮中的害虫体积较小而较难检测, 声检测方法是一种检测和监测储粮害虫的简便而经济实用的方法。但通常储粮中存在多种或多头活动害虫, 且



A. 玉米象爬行混合信号 Mixed signal of *Sitophilus zeamais* creeping signal; B. 玉米象翻身振动混合信号 Mixed signal of *Sitophilus zeamais* vibratory signal; C. 赤拟谷盗爬行混合信号 Mixed signal of *Tribolium castaneum* creeping signal; D. 赤拟谷盗翻身振动混合信号 Mixed signal of *Tribolium castaneum* vibratory signal.

图 4 玉米象和赤拟谷盗爬行和翻身振动信号的混合信号

Fig. 4 Mixed signals of creeping and vibratory signals produced by *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*



A. 赤拟谷盗翻身振动信号的估计信号 Estimated signal of *Tribolium castaneum* vibratory signal; B. 玉米象翻身振动信号的估计信号 Estimated signal of *Sitophilus zeamais* vibratory signal; C. 赤拟谷盗爬行信号的估计信号 Estimated signal of *Tribolium castaneum* creeping signal; D. 玉米象爬行信号的估计信号 Estimated signal of *Sitophilus zeamais* creeping signal.

图 5 Fast ICA 算法对玉米象和赤拟谷盗的爬行和翻身振动信号的估计信号

Fig. 5 Estimated signals of Fast ICA algorithm to creeping and vibratory signals of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*

环境中不可避免存在噪声,产生的混合活动声信号遮掩了单种害虫的活动声特征,不利于准确识别害虫种类。笔者针对粮仓中存在多种粮虫的状况,利用 Fast ICA 算法处理 2 种储粮害虫的 4 种活动声信号,研究结果可应用于检测并确定储粮害虫的种类,从而有针对性地采取防治措施,减小储粮损失。

本试验采集了玉米象和赤拟谷盗的爬行信号和翻身振动信号,并比较和区分各种声信号的特征。利用 Fast ICA 算法对夹杂噪声的声信号进行去噪,并成功分离了 4 种储粮害虫活动声信号的混合信号,所得估计信号较好地保持了源信号的波形和特征,证明利用 Fast ICA 算法识别储粮害虫活动声信号的准确性和有效性。该方法能够在多种储粮害虫活动声信号混杂的情况下区分并识别每种信号,适用于对储粮害虫种类的检测。通过识别粮堆中害虫声信号,判断储粮中害虫滋生情况,对安全储粮具有重要意义。由于不同储粮中滋生的害虫种类不同,在以后的研究中可针对其他种类粮食害虫的多种活动声信号进行分析,并将每种害虫的不同活动声信号特征建立特征数据库,便于实时查阅和应用。

参 考 文 献

[1] HAGSTRUM D W, FLINN P W. Comparison of acoustical detection of several species of stored-grain beetles (Coleoptera; Curculionidae, Tenebrionidae, Bostrichidae, Cucujidae) over a range of temperatures [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1993, 86(4):1271-1278.

[2] COGGINS K M, PRINCIPE J. Detection and classification of insect sounds in a grain silo using a neural network [J]. *Food Control*, 1998, 18(2):157-162.

[3] 韩萍. 仓储物害虫声音的模式识别[J]. *计算机工程*, 2003, 29(22):151-152, 154.

[4] 唐发明, 陈绵云, 王仲东. 基于支持向量机的仓储害虫声音识别[J]. *华中科技大学学报:自然科学版*, 2005, 33(2):34-36.

[5] FLEURAT-LESSARD F, TOMASINI B, KOSTINE L, et al. Acoustic detection and automatic identification of insect stages activity in grain bulks by noise spectra processing through classification algorithms [C]. Brazil: 9th International Working Conference on Stored Product Protection, 2006:476-486.

[6] 韩萍, 李齐超, 杨红卫. 基于人工神经网络的粮食害虫分类[J]. *河南工业大学学报:自然科学版*, 2010, 31(3):72-75.

[7] 秦昕, 郭敏. 2 种储粮害虫活动声信号检测及其功率谱分析[J]. *华中农业大学学报*, 2012, 31(5):656-660.

[8] 吴逊. 基于独立成分分析的特征提取方法研究[D]. 厦门:厦门大学图书馆, 2007.

[9] 谢亮. 基于独立分量分析特征提取方法的研究及其应用[D]. 杭州:浙江师范大学图书馆, 2009.

[10] 董志强. 独立分量分析及其在语音特征提取中的应用[D]. 济南:山东大学图书馆, 2010.

[11] 汪斌, 王年, 蒋云志, 等. 改进 Fast ICA 算法在谐波检测中的应用[J]. *电力自动化设备*, 2011, 31(3):135-138.

[12] 孔薇, 杨杰, 周越. 基于独立成分分析的强背景噪声去噪方法[J]. *上海交通大学学报*, 2004, 38(12):1957-1961.

[13] 程娇. 基于小波变换和独立分量分析的去噪方法研究[D]. 上海:复旦大学图书馆, 2010.

[14] 张晓峰, 许江浩. 基于固定点算法的地震数据降噪[J]. *科技导报*, 2011, 29(16):49-53.

[15] 云晓花, 景新幸. 背景噪声下的语音信号分离[J]. *计算机工程*, 2011, 37(23):181-182, 185.

Active acoustic signals recognition of two kinds of stored grain pests based on Fast ICA

ZHANG Ming-zhen GUO Min

School of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

Abstract Using fast independent component analysis algorithm, active acoustic signals mixed with gaussian noise of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* known as stored grain pests, were denoised. Then Fast ICA algorithm were used to recognize and separate acoustic signals of four kinds of active acoustic signals, such as creeping and vibratory signals of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. The results demonstrate the validity and accuracy to recognize each pest's acoustic signal from mixed signals by Fast ICA algorithm.

Key words stored grain pest; acoustic signal; Fast ICA algorithm; recognition