

基于独立分量分析的同频、邻频及谐波干扰消除法*

金贵斌¹, 王曙钊¹, 金桂梅², 王卓¹

(1. 空军工程大学理学院, 西安 710051 2. 日照职业技术学院, 山东 日照 276826)

摘要: 针对同频、邻频及谐波干扰对电子电力装置存在严重的污染与危害, 且常规的诸如通带滤波等方法不能很好的消除此类干扰的情况, 提出了一种基于独立分量分析的干扰消除方法。该方法通过对混合信号运用独立分量分析进行盲源分离, 提取出纯净的待检测信号, 从而消除同频、邻频及谐波干扰。仿真实验结果表明, 此法可以同时有效地消除同频、邻频及谐波干扰, 从而提高电子电力装置的可靠性与稳定性。

关键词: 独立分量分析; 同频; 邻频; 谐波; 干扰

中图分类号: TM933

文献标识码: A

文章编号: 1001-1390(2009)06-0001-04

Method to Remove the Interference in Identical, Adjacent and Multiple Frequency Based on ICA

JIN Gui-bin¹, WANG Shu-zhao¹, JIN Gui-mei², WANG Zhuo¹

(1. Science College, Air-force Engineering University, Xi'an 710051, China.

2. Ri zhao Polytechnic, Rizhao 276826, Shandong, China)

Abstract: According to the complexion that the serious harm by the interference in identical, adjacent or multiple frequency, and the average method such as filter couldn't remove this interference, a novel method to eliminate the interference based on ICA is presented. This method pick-up the pure signal by blind source separation which depended on Independent Component Analysis, to eliminate the interference in identical, adjacent and multiple frequency. The results of blind source separation for the data show that the ICA is an effective method to eliminate the interference. Therefore, this method can improve reliability and stability highly for the instruments.

Key words: independent component analysis (ICA), identical frequency, adjacent frequency, multiple frequency, interference

0 引言

所谓同频干扰, 即指无用信号的频率与有用信号的频率相同, 并对接收同频有用信号的接收机造成的干扰。同样, 邻频干扰是指干扰信号落入接收机有用信号接收通带内造成的干扰。在电力系统中谐波产生的根本原因是由非线性负载所致。当电流流经负载时, 与所加的电压不呈线性关系, 就形成非正弦电流, 即电路中有谐波产生。谐波频率是基波频率的整数倍, 根据法国数学家傅立叶(M. Fourier)分析原理证明, 任何重复的波形都可以分解为含有基波频率和一系列为基波倍数的谐波的正弦波分量。

同频、邻频及谐波干扰对电子电力装置的污染与

危害是不容忽视的。传统的解决谐波干扰问题, 基本思路有两条: 一条是装设谐波补偿装置来补偿谐波, 这对各种谐波源都是适用的; 另一条是对电力电子装置本身进行改造, 使其不产生谐波, 且功率因数可控为 1, 这当然只适用于作为主要谐波源的电力电子装置。且不论以上两种方法效果如何, 就算效果很好, 也仅仅解决了谐波干扰问题, 不能同时对同频、邻频干扰进行有效处理。如何对同频、邻频及谐波干扰进行有效滤除就显得非常重要。独立分量分析^[1-3](ICA) 作为近年来发展研究的热门理论, 其应用于同频、邻频及谐波干扰的滤除将能得到很好的效果。

1 基于 ICA 的盲源分离信号干扰消除原理

传统的干扰消除方法, 往往依赖于源信号类型相

* 国防科技预研基金资助项目(5130404)

关的详细知识或信号传输系统特性的精确辨识。这使得在实际应用中遇到困难,作为一种有效的信号干扰消除技术,ICA 已得到了广泛的应用,包括盲源分离、特征提取等。基于 ICA 方法,使得被分析信号各成分之间的统计依赖性得到最小化,突出了源信号的本质结构。独立分量分析的关键是建立一个能够度量分离结果独立性的目标函数,以及在最大化或者最小化该目标函数的前提条件下寻找最优的分离算法。

盲源分离描述了对未知源信号的估计重现过程,也可以认为是一种抽取独立信号源的技术。它认为观测是由若干相互独立的信号源通过线性混合而成,在获得多通道观测的前提下,运用某种准则和优化算法,可分离出各个独立的信号源。盲分离模型在数学上可描述为^[3-4]:

$$x(t) = As(t) \quad (1)$$

式中 $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))^T$ 为 n 个混合信号矢量, $s(t) = (s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t))^T$ 为 n 个未知的独立源信号矢量(仅考虑源信号和混合信号个数相等的情况), A 为 $n \times n$ 维可逆混合矩阵。

盲源分离的目的就是寻找一个变换矩阵 W , 对 x 进行线性变换, 得到 n 维输出向量:

$$u = Wx = WAs \quad (2)$$

当允许存在分离信号比例不定性和顺序不定性的前提下, μ 称为对独立成分 s 的一个估计 $u = \hat{s}$, 如图 1 所示。

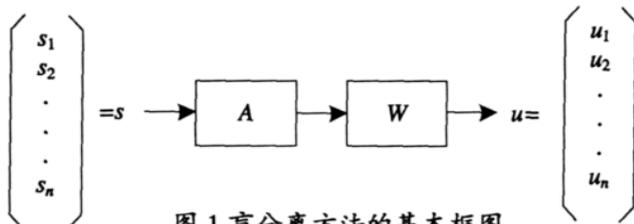


图 1 盲分离方法的基本框图

Fig.1 The basic system structure diagram of blind source separation

用 ICA 解决盲信号分离的问题一般是基于以下假设^[4]: (1) 观测信号数大于等于源信号数; (2) 源信号 $s_i(t)$ 中的各分量为零均值的平稳过程; (3) 在每个时刻, 各源信号 $s_i(t)$ 统计独立; (4) 源信号 $s_i(t)$ 的各个分量都具有单位方差。首先, 假设(1)在任何物理情况下都是几乎肯定成立的。假设(3)是信号可以盲分离的关键假设, 但它却是一个物理上非常合理的假设, 因为源信号通常是从分离的物理系统发出的。在现阶段的信号盲分离, 研究的对象主要是平稳信号, 所以假设(2)是很自然的假设。假设(4)与信号分离的模糊性有关。因此, 将基于 ICA 的盲源分离技术应用

于同频、邻频及谐波干扰的消除, 从而获得准确的源信号是完全可行的。

2 同频、邻频及谐波干扰背景下对有用信息的提纯分离步骤

1997 年芬兰学者 Aapo Hyvarinen 等人首先提出基于四阶累计量的固定点算法。其后, 在 1999 年又提出了进一步的改进——基于负熵的 ICA 固定点算法。在 2001 年出版的著作中他们又作了进一步简化。由于这一算法比批处理甚至自适应处理具有更快的收敛速度, 因此又被称为“快速 ICA 算法^[5-6](FastICA)”。鉴于其优越性, 本文将采用 FastICA 方法对强噪声背景下键盘敲击音进行分离, 具体步骤^[7]如下:

(1) 把原始观测数据 x 去均值, 再进行白化预处理, 得 z ;

(2) 设 m 为待提取独立分量的数目, 令 $k=1$;

(3) 初始化权值向量 $w_k(0)$, 要求 $\|w_k(0)\|_2=1$;

(4) 对 w 进行调整:

$$w_k(n) = E \{ g(w_k^T(n-1)z) \} - E \{ g'(w_k^T(n-1)z) \} w_k(n-1)$$

实际计算时, 期望值一般用样本的平均值来近似。此处取 $g(u) = u \exp(-u^2/2)$

(5) 正交化:

$$w_{k+1} \leftarrow w_{k+1} - \sum_{i=1}^k w_{k+1}^T w_i w_i$$

(6) 归一化:

$$w_{k+1} \leftarrow w_{k+1} / \sqrt{w_{k+1}^T w_{k+1}}$$

(7) 如果 w_k 未收敛, 回到步骤(4)。此处 w_k 收敛是指 w_k 在前后两次的迭代中指向相同的方向, 但不要求是同一方向, 即 w_k 和 $-w_k$ 是指向相同的方向;

(8) 如果 w_k 收敛, 则求出一个独立分量 $s_k = w_k z$;

(9) 令 k 加 1, 如 $k \leq m$, 则回到步骤(3), 否则工作完成。

3 模拟仿真及结果分析

3.1 模拟仿真

为验证本文运用的基于独立分量分析的同频、邻频及谐波干扰消除法, 在理想情况下运用 MATLAB 软件对算法进行了仿真。构造虚拟信号源和干扰源, 模拟多个传感器接收信号, 利用此算法进行盲源分离。

3.1.1 同频干扰及其分离

假设混合前待检测源信号为 $\sin(0.03\pi t + \pi/6)$; 同频干扰信号为 $\sin(0.03\pi t) + 0.5\cos(0.2\pi t)$ 。同频干扰及其分离如图 2 所示, 图 2 中从左到右依次为混合前待检测源信号与同频干扰信号、混合信号以及分离后的信号。

3.1.2 邻频干扰及其分离

假设混合前待检测源信号为 $\sin(0.05\pi t + \pi/6)$;

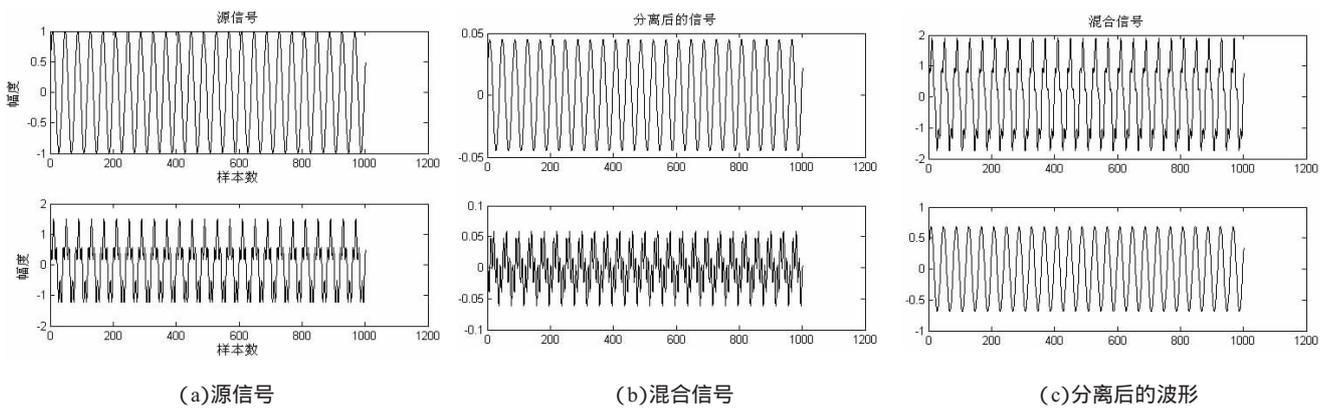


图 2 同频干扰及其分离

Fig.2 The interference in identical and its separation

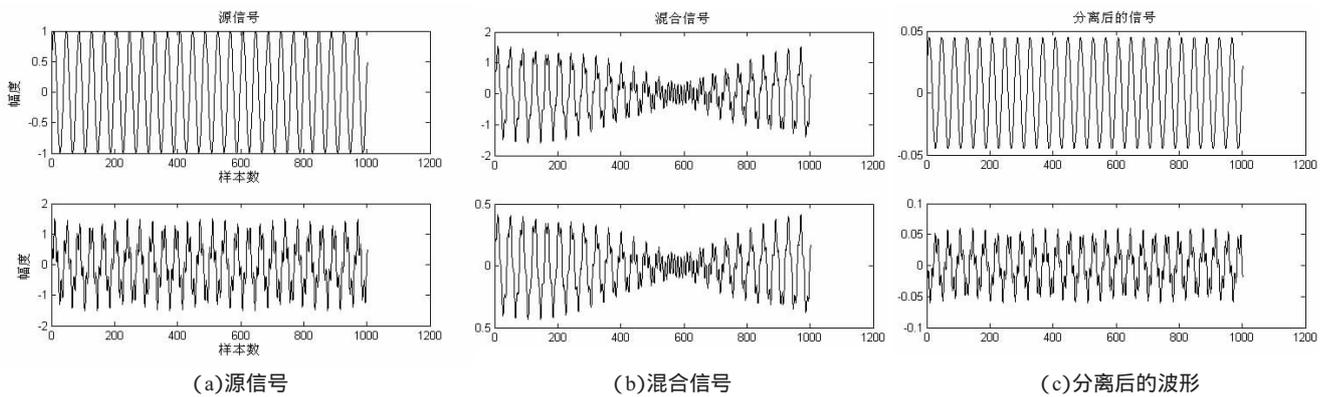


图 3 邻频干扰及其分离

Fig.3 The interference in adjacent and its separation

邻频干扰信号为 $\sin(0.052\pi t) + 0.5\cos(0.20\pi t)$ 。邻频干扰及其分离如图 3 所示,图 3 中从左到右依次为混合前待检测源信号与邻频干扰信号、混合信号以及分离后的信号。

3.1.3 谐波干扰及其分离

假设混合前待检测源信号为 $\sin(0.05\pi t + \pi/6)$, 谐

波干扰信号为 $\sin(0.10\pi t + \pi/6)$ 。谐波干扰及其分离如图 4 所示,图 4 中从左到右依次为混合前待检测源信号与谐波干扰信号、混合信号以及分离后的信号。

分别观察图 2、3、4 中的混合信号可以看出,三组混合信号中,待检测信号均完全湮没于干扰信号之中。由于混合后信号的信噪比极低,且具有同频、邻频

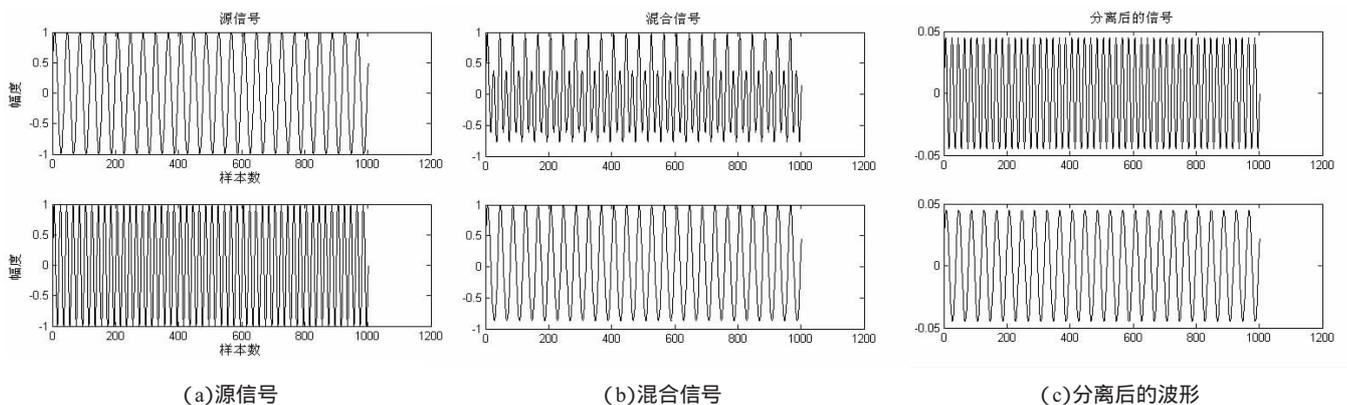


图 4 谐波干扰及其分离

Fig.4 The interference in multiple and its separation

及谐波干扰信号,此时常规的诸如通带滤波、随机共振等方法都对信噪比的改善不明显,不能从混合信号中将待检测源信号完全干净地分离出来。但将此类混合信号利用 FastICA 算法分别进行盲源分离,可分别提取出待检测源信号及同频、邻频及谐波干扰信号,如图 2、3、4 中分离后的信号所示。观察发现,与混合前源信号相比,提取出的各信号除了幅值及排列次序有所变化之外,都极好地恢复出了各源信号。

3.2 结果分析

为了进一步定量地衡量算法的分离效果,我们采用信噪比作为信能标准。信噪比包括输入信噪比 SNR_{in} 和输出信噪比 SNR_{out} ,分别定义为:

$$SNR_{in} = 10 \lg \frac{\sum_{n=0}^N s_i^2(n)}{\sum_{n=0}^N [y_i^2(n) - s_i^2(n)]^2}; \quad (3)$$

$$SNR_{out} = 10 \lg \frac{\sum_{n=0}^N s_i^2(n)}{\sum_{n=0}^N [u_i^2(n) - s_i^2(n)]^2} \quad (4)$$

式中 N 为数据长度; y_i 为各混合信号; s_j 为混合前各源信号; u_i 为恢复出的各信号。

三组试验中,可计算出矩阵 W 与 A 的乘积 WA 分别等于 $\begin{pmatrix} 2.657 & 0.358 \\ -0.14 & 1.554 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 1.365 & 0.136 \\ 0.298 & -0.973 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 0.277 & 2.167 \\ 1.859 & -0.369 \end{pmatrix}$ 。从这三个矩阵可以看出,在每个矩阵的每一行及每一列中有且仅有一个显著的值。即表明在三个仿真中都很好地恢复出了源信号。

表 1 为利用式(3)、(4)计算的分离后信噪比的改

表 1 实验结果

Tab.1 The experiment results

	同频干扰及其分离		邻频干扰及其分离		谐波干扰及其分离	
	信号 1	信号 2	信号 1	信号 2	信号 1	信号 2
SNR_{in}/dB	4.96	4.23	4.26	4.13	5.18	3.86
SNR_{out}/dB	28.53	26.12	26.38	24.34	28.52	25.96
提高/dB	23.57	21.89	22.12	20.21	23.34	22.10

善程度。从其中的数据可以看出,经过 FastICA 盲源分离运算,极大地提高了信号的信噪比,从混合信号中有效的提取出了待检测源信号。

4 结论

本文研究了基于独立分量分析的同频、邻频及谐波干扰消除法。针对同频、邻频及谐波干扰对电子电力装置存在严重的污染与危害,且常规的诸如通带滤波、随机共振等方法不能很好地消除此类干扰的情况,通过对混合信号运用独立分量分析的方法进行盲源分离,提取出纯净的待检测信号,从而消除同频、邻频及谐波干扰。仿真结果表明,在满足独立分量分析基本条件的情况下,此法可以有效地消除同频、邻频及谐波干扰,从而提高电子电力装置的可靠性与稳定性。

参 考 文 献

- [1] L.Tong, R. Liu, V.C.Soon, et al. Indeterminacy and identifiability of blind identification [J]. IEEE Trans. On Circuits and Systems, 1991, 38(5): 499-506.
- [2] Chang Yue, Yang Wan-lin. ICA application to anti-noise jamming of SAR [J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2007, 4, 22(2).
- [3] Aapo Hyvarinen, Karhunen, J., and Oja, E. Independent Component Analysis [M]. New York: Wiley, 2001.
- [4] Francis R. Bach, Michael I. Jordan. Kernel Independent Component Analysis [J]. Journal of Machine Learning Research, 2002, (3): 1-48.
- [5] M.C. Jones and R. Sibson, "What is projection pursuit?" J. of the Royal Statistical Society, ser. A, 150: 1-36, 1978.
- [6] Aapo Hyvarinen. Fast and Robust Fixed-Point Algorithms for Independent Component Analysis [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1999, 10(3): 626-634.
- [7] Kun Zhang and Laiwan Chan. Kernel-Based Nonlinear Independent Component Analysis [J]. ICA 2007, LNCS 4666, pp. 301-308, 2007.

作者简介:

金贵斌(1984-)男,甘肃靖远人,空军工程大学理学院硕士研究生,主要从事信号和信息处理的研究。Email: jgb889@sohu.com

王曙钊(1955-)男,陕西乾县人,空军工程大学理学院教授,硕士生导师,主要从事信号和信息处理研究。

金桂梅(1980-)女,甘肃靖远人,日照职业技术学院,助教,硕士研究生,主要从事信号和信息处理研究。

王卓(1984-)男,陕西西安人,空军工程大学理学院硕士研究生,主要从事信号和信息处理的研究。

收稿日期 2009-01-06

(常会敏 编发)