

基于时频分析的跳频盲抗干扰技术研究

刘 永

(四川理工学院自动化与电子信息学院,四川 自贡 643000)

摘 要:盲抗干扰技术是一种利用盲源分离技术应对不可预知干扰的方法。在分析跳频盲分离抗干扰的技术文献的基础上,研究了基于时频分析的跳频盲分离抗干扰技术的性能。仿真结果表明,基于时频分析的盲抗干扰技术具有较好的抗非平稳干扰信号性能。

关键词:盲源分离;时频分析;抗干扰;跳频;非平稳

中图分类号:TN911.7

文献标志码:A

引 言

通信是发射方和接收方进行可靠性信息传输的科学,就可靠性而言,是要求信息以尽可能小的差错到达目的方。而现代无线通信系统中有大量的干扰源,这些干扰源不可避免地影响了通信的可靠性传输,尤其在未知或不可预测的干扰环境下通信,接收机的性能受到了严重地破坏。因此接收机的目的是以强健的方式对抗干扰源,并尽可能协调最优化系统增益和计算复杂度之间的矛盾关系^[1]。

传统的抗干扰方法考虑所有可以利用的先验信息以及增加额外的信息(导频)来实施干扰减弱,如信道特性、来波方向等。此种方法以消耗通信系统的频率资源或功率资源,以增加系统规模或损失信号为代价来维持系统性能,从香农信息论的角度看,这些方法最终都将损失通信系统的总容量,不能有效解决当前日益突出的通信容量需求和通信资源需求之间的矛盾。为此,引入一种不以占用通信系统的频率资源为代价的全新通信抗干扰技术,即应用盲源分离技术,从被干扰和噪声污染的观测信号中分离或者提取有用信号,达到抗干扰目

的^[2-15]。

盲源分离是信号处理领域中的热点和难点问题,在生物医学、语音、通信、图像处理、文本数据挖掘等方面均有突出的贡献。盲源分离目的是指在未知源信号先验信息和传输信道参数情况下恢复源信号。这里的术语“盲”有两重含义:第一,源信号不能被观测;第二,源信号是如何混合的也未知。显然,当源信号与接收传感器之间的传输很难建立起数学模型时,或者关于传输的先验知识无法获得时,盲源分离是一种很自然的选择。盲源分离技术为应对通信环境的复杂性、对抗性,带来了新的思路和方法。盲源分离方法在通信领域有着重要的应用。目前,盲源分离的核心算法是基于独立成分分析(ICA)的算法,代表性算法有: Bell - Sejnowski 最大信息量(Infomax)方法、Amari 自然梯度(Natural Gradient)方法、Cardoso 等变化自适应方法(EASI)、Hyvarinen 快速独立元分析算法(FastICA)、特征矩阵值联合对角化(JADE)等。前沿算法是基于稀疏成分分析(SCA)、非负矩阵分解(NMF)的算法^[1]。

跳频扩频是卫星通信体制中一种抗干扰方式,具有低截获率、抗干扰衰落能力强等诸多优点。目前,跳频

收稿日期:2014-05-12

基金项目:人工智能四川省重点实验室科研项目(2012RYJ09);四川理工学院科研项目(2011KY10);四川理工学院教改项目(JG-1417)

作者简介:刘永(1977-),男,四川巴中人,实验师,硕士,主要从事模式识别方面的研究,(E-mail)lytj200379@126.com

信号与盲源分离的研究只有甚少的研究成果,大都见于国内的研究文献,而由于其技术涉及军事敏感性,国外文献鲜有。文献[2]研究了小波空域相关 ICA 跳频信号盲分离算法,应用于多跳频信号的盲分离和参数估计,其核心盲分离算法的是基于信息极大化的 Infomax 算法。文献[3]研究了基于独立分量分析的混叠跳频信号分离算法,取得了较好的分离效果,其核心盲分离算法是基于负熵最大化的 FastICA 算法。文献[4]针对由于多个跳频信号在时域重叠,频域跳变,使得非合作接收条件下跳频信号的分离成为通信侦察和对抗中的一个难点问题,研究了一种自适应盲分离跳频信号的方法,其核心盲分离算法是 EASI 算法。文献[5-7]分别研究了基于盲源分离的抗部分频带噪声阻塞干扰方法,抗跟踪干扰的方法和抗梳状阻塞干扰方法,有效提高抗干扰的性能。文献[8]研究了一种改进 EASI 算法的跳频信号盲分离,有效适用于实际的通信抗干扰系统。文献[9]研究了基于盲分离的跳频网台分选。

以上文献研究的都是基于源的独立性进行的盲分离,而又由于跳频信号的频率随时间伪随机跳变,属于典型的非平稳信号。结合非平稳跳频信号的特性,文献[11-13]研究了结合时频分析技术的跳频信号参数估计和分离算法。文献[14]针对快速独立分量算法会使分离信号非幅度、相位等参数较源信号发生变化,提出基于短时傅里叶变换比的跳频信号盲分离。同样利用其非平稳特性,文献[15]研究了基于时频分布的跳频信号欠定模型的盲分离方法,结合时频分析的方法,更好地结合了跳频信号的本质特性,同时为欠定模型和稀疏成分分析提供了技术支持,具有更实际的意义。跳频体制下的盲信号分离与估计,充分发展了盲源分离在盲技术通信中的优势。

从以上的研究可以得知,文献[2-9]考虑了源独立性的这一条件,分别引入经典的盲分离算法思想,即 Infomax 算法、FastICA 算法、EASI 算法和 JADE 算法;而文献[10-15]考虑了跳频信号的非平稳特性,借助时频分析工具,优化了盲分离的性能,提高了抗干扰性能;文献[1-14]是利用了联合对角的的思想,时频分析后都是借助了特征矩阵的联合对角化来进行盲分离源信号估计。

现今跳频信号盲分离的研究有着重要的意义,为跳

频抗干扰与盲源分离的结合应用提供了可行性验证,而更多的实际问题需要研究解决,因此本文主要工作是综述现有的跳频体制下的盲分离研究文献,研究了基于时频分析盲分离抗干扰的性能,仿真结果表明基于时频分析的盲分离技术具有抗非平稳干扰信号良好性能,具有较强的技术优势。

1 基于时频分析的盲源分离

假设有 N 个相互独立的信源,通过瞬时混合系统后,由 M 个探测器接收,整个系统可以表示为:

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

式中,矢量 $x(t) = [x_1(t), \dots, x_M(t)]^T$ 是观测信号;矢量 $s(t) = [s_1(t), \dots, s_N(t)]^T$ 是源信号; $n(t) = [n_1(t), \dots, n_M(t)]^T$ 是加性噪声; A 是一个列满秩的 $M \times N$ 维矩阵,称为混合矩阵。当 $N = M$ 时,系统的正定模式,当 $N < M$ 是系统是超定模式,当 $N > M$ 是系统是欠定模式,而当 $M = 1$ 是单通道模式。单通道模式时,系统模型可以表示为:

$$x(t) = a_1s_1(t) + \dots + a_Ns_N(t) + n(t) \quad (2)$$

针对非平稳信号,如跳频信号,利用时频分析,对于观测信号 $x(t)$, 离散 Cohen 类时频分布定义为:

$$D_{xx}(t, f) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} \varphi(m, l) x(t+m+l) \times x^*(t+m+l) e^{-j4\pi fl} \quad (3)$$

式中,加权函数 $\varphi(m, l)$ 称为核函数,可得到不同的 Cohen 类时频分布、短时傅里叶换、Wigner - Ville 分布、平滑伪 Wigner - Ville 等。

系统模型经过时频处理,无噪情况时可以表示为:

$$D_{xx}(t, f) = AD_{ss}(t, f)A^H \quad (4)$$

式中,上标 H 表示矩阵的复数共轭转置;矩阵 $D_{ss}(t, f)$ 的元素由源信号 $s(t)$ 的自分布项和互分布项构成,自分布项构成了 $D_{ss}(t, f)$ 的对角元素,互分布项构成了 $D_{ss}(t, f)$ 的非对角线元素。因此,对应于真正的能量聚集时频点 (t_k, f_k) , 矩阵 $D_{ss}(t_k, f_k)$ 为对角阵。借助联合对角化的思想,可以将时频矩阵 $\{D_{ss}(t_i, f_i) | 1 \leq i \leq K\}$ 联合对角化来进行盲分离,其中 K 是时频点个数。

2 基于时频分析的跳频通信盲分离仿真

本文建立了基于时频分析的跳频盲分离系统,通过

计算机仿真研究基于时频分布的跳频盲分离抗干扰性能。首先仿真分析一组非平稳信号的盲分离性能,然后仿真分析跳频信号的盲分离性能。系统中跳频频率集为 {5 kHz, 45 kHz, 20 kHz, 10 kHz}, 采样率为 128 kHz, 跳速为 2000 跳/秒。

2.1 非平稳信号的盲分离性能

图 1 是 3 个非平稳源信号,混合矩阵 A 随机产生,图 2 是混合信号,信噪比 20 dB,图 3 是盲分离结果。

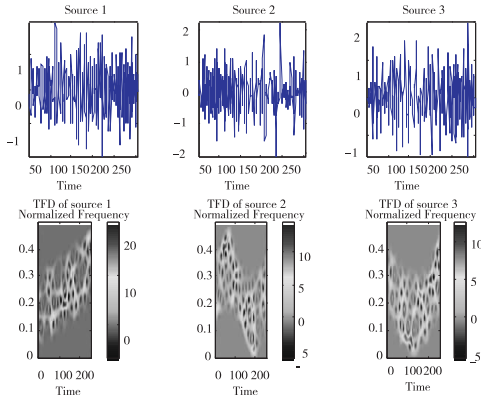


图 1 非平稳源信号

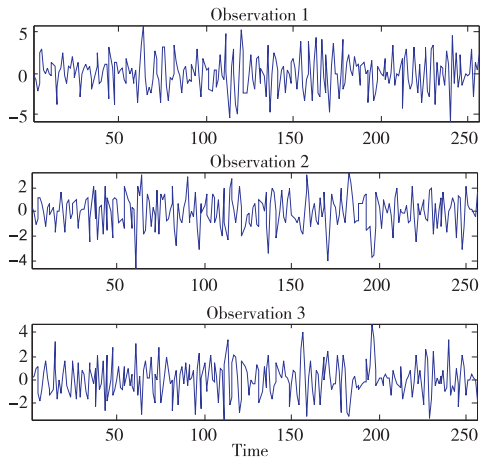


图 2 混合信号

2.2 跳频信号盲分离性能

仿真步骤同 2.1 节,信噪比 20 dB,其中图 4 ~ 图 6 分别为跳频源信号、混合信号,以及分离信号,从分离性能对比图中可以得出分离信号较好地复原了源信号。

2.3 单音干扰下的盲抗干扰性能

实际中被广泛应用的单音干扰、脉冲干扰以及扫频干扰等都是非平稳信号,在 2.2 节的基础上加上一个单

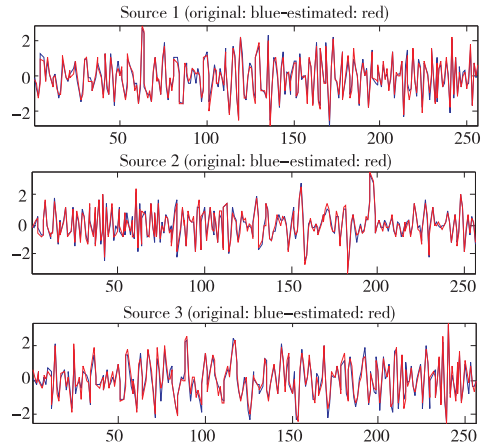


图 3 分离信号性能

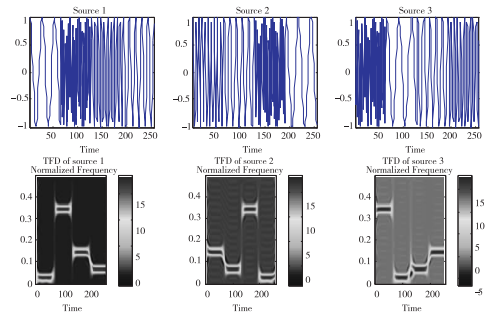


图 4 源信号

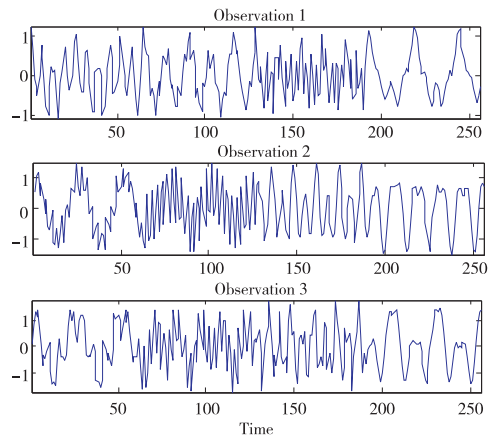


图 5 混合信号

音干扰,其他条件不变,仿真结果分别如图 7 ~ 图 9 所示。从图 9 所示的分离性能可以得知,基于时频分析的盲分离方法能有效地抑制非平稳源干扰。

3 结束语

本文综述了现有关于跳频盲分离的技术文献,对比了其中研究的核心算法,从理论上找到了跳频盲抗干扰的技术方案。然后分析了基于时频分析的盲源分离模

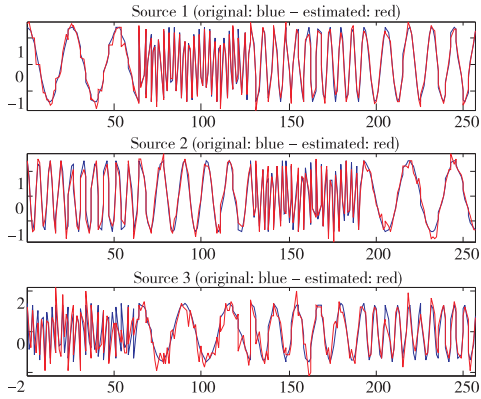


图6 分离信号

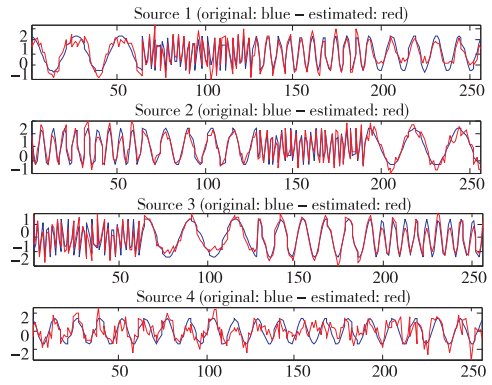


图9 分离信号

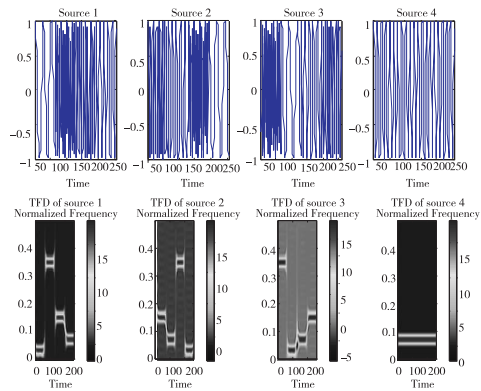


图7 源信号

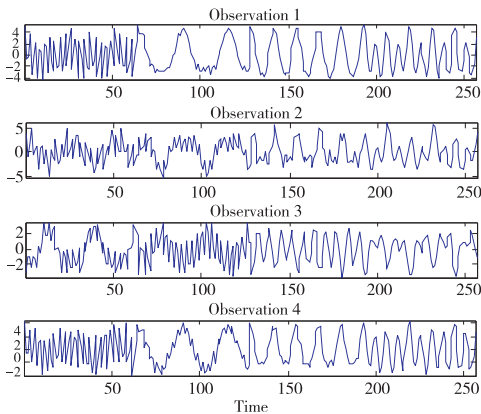


图8 混合信号

型,最后结合此模型仿真分析了一般非平稳信号的盲分离和跳频非平稳信号盲抗干扰性能,从仿真结果中,可以得出基于时频分析的盲分离技术,具有跳频体制下较好地抗非平稳信号的抗干扰性能。目前盲抗干扰只是初步的研究,还有更多的理论问题和关键技术需要解决。盲抗干扰为应对复杂环境的干扰提供了技术支持,具有重要的研究意义,更多的关键技术问题研究有待进一步深入研究。

参考文献:

[1] Comom P, Jutten C. Handbook of blind source separation: independent component analysis and application[M]. Oxford: Academic press, 2010.

[2] 杜纯,周薇,高健,等.小波空域相关ICA跳频信号盲分离算法[J].电讯技术,2010,50(9):36-40.

[3] 陈超,高宪军,李德鑫.基于独立分量分析的混叠跳频信号分离算法[J].吉林大学学报:信息科学版,2008,26(4):347-351.

[4] 杨阳,李辉,万坚,等.一种自适应盲分离跳频信号的方法[J].通信技术,2008,41(12):10-12.

[5] 于森,王曰海,汪国富.基于BSS的跳频通信抗部分频带噪声阻塞干扰方法[J].系统工程与电子技术,2013,35(5):1079-1084.

[6] 于森,姚富强.基于盲源分离跳频通信抗跟踪干扰的方法[C]//中国通信学会国防通信技术委员会盲信号处理重点实验室.第一届全国盲信号处理学术交流会议论文集.成都:电子科技大学出版社,2012:202-213.

[7] 于森,王曰海,汪国富.基于独立分量分析的跳频通信抗梳状阻塞干扰方法[J].解放军理工大学学报,2012,13(6):593-598.

[8] 邓灵,张天琪,金静,等.基于改进EASI算法的多跳频信号盲源分离[J].科学技术与工程,2014,14(2):45-49.

[9] 翟海莹,杨小牛,王文勇.基于盲源分离的跳频网台分选[J].中国电子科学研究院学报,2008,3(4):398-402.

[10] 苏元伟,何明浩,余国文.基于时频分析的跳频信号参数盲估计方法[J].电子信息对抗技术,2009,24(1):9-12.

- [11] 秦永利,吕明.一种基于 STFT 的跳频参数估计新方法[J].电子科技,2013,26(11):118-121.
- [12] 张朝阳,曹千芊,陈文正.多跳频信号的盲分离与参数估计[J].浙江大学学报:工学版,2005,39(4):465-470.
- [13] 冯涛,袁超伟.基于时频分布的跳频信号盲分离方法[J].系统工程与电子技术,2010,32(5):900-903.
- [14] 谢亮,朱立东.基于时频分析的跳频信号盲分离[C]//中国通信学会国防通信技术委员会盲信号处理重点实验室.第一届全国盲信号处理学术交流会论文集.成都:电子科技大学出版社,2012:159-165.
- [15] Sha Zhichao,Huang Zhitao,Zhou Yiyu,et al.Frequency-hopping signals sorting based on underdetermined blind source separation[J].IET Communications,2013,7(14):1456-1464.

Research on Blind Anti-jamming of Frequency Hopping Based on Time-frequency Analysis

LIU Yong

(School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: Blind anti-jamming technique exploits the technological superiority of blind source separation (BSS) to deal with the unpredictable interference. Based on the analysis of Literature about frequency-hopping blind separation anti-jamming technology, the performances of frequency-hopping blind separation anti-jamming technology based on time-frequency analysis are researched. The simulation results show that blind anti-interference technique based on time-frequency analysis has good anti-interference performance for non-stationary interference signal.

Key words: blind source separation; time-frequency analysis; anti-jamming; frequency-hopping non-stationary

(上接第 18 页)

- [7] 师彪,李郁侠.基于改进粒子群-模糊神经网络的短期电力负荷预测[J].系统工程理论与实践,2010,30(1):157-166.
- [8] 罗金炎.连续型粒子群优化算法的均方收敛性分析[J].电子学报,2012,40(7):1364-1367.
- [9] 孙勇,章卫国,章萌,等.基于改进粒子群算法的飞行控制器参数寻优[J].系统仿真学报,2010,22(5):1222-1225.
- [10] 杨晓峰,孙明明,胡雪蕾,等.基于改进隐马尔可夫模型的网络攻击检测方法[J].通信学报,2010,31(3):95-101.

A New Detection Method of Network Attacks

ZHAO Pan, JIANG Yubo, QIU Ling

(School of Computer Science, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: In order to effectively determine the possibility of attacks for network data packets, a new detection algorithm DMPSO (Detection Method based of Particle Swarm Optimization) is proposed based previous studies. The state indicators are defined with the discreteness of packet characteristic in this algorithm, and the calculation process of standard deviation distribution is presented to judge the anomaly of packet by particle swarm optimization. Finally, a simulation is conducted. Compared to the performances of other algorithms, the results show that DMPSO has better adaptability.

Key words: cyber attack; detection; mutation operator; data packet; standard deviation; particle swarm optimization