

基于峭度的盲分离在通信信号盲侦察中的应用

李莉, 崔琛

(电子工程学院, 安徽 合肥 230037)

【摘要】为实现复杂多信号环境下的通信信号侦察,采用一种新的盲侦察技术,即运用盲源分离算法,在没有任何先验知识的情况下分离出源信号,然后对分离的各个信号进行后续处理。提出一种改进的基于峭度的盲分离算法,可以自适应地确定激活函数。将其应用在通信信号盲侦察中,可以实现对任意源信号进行盲分离,而不管它是超高斯还是亚高斯信号。选择超高斯和亚高斯混合通信信号进行了仿真实验,结果验证了该算法的有效性。

【关键词】盲分离; 峭度; 通信信号; 侦察

【中图分类号】 TN911.7

【文献标识码】 A

【文章编号】 1002-0802(2010)04-0133-03

Application of Blind Source Separation Based on Kurtosis in Communication Signal Blind Reconnaissance

LI Li, CUI Chen

(Electronic Engineering Institute, Hefei Anhui 230037, China)

【Abstract】 In order to realize communication reconnaissance under the circumstances with complex multiple signals, a new blind reconnaissance technology is proposed, which adopts a algorithm of blind source separation. The original signals could be separated by this method without any priori information for the following signal processing. A new algorithm of blind source separation based on kurtosis is proposed, which could adaptively determine activation function. This algorithm is applied in the communication signal blind reconnaissance, thus realizing the blind separation of any original signal, no matter it is super-Gaussian or sub-Gaussian signal. Super-Gaussian and sub-Gaussian communication signals are selected for simulation, and the simulation result shows that this algorithm is feasible and effective.

【Key words】 blind source separation; kurtosis; communication signal; reconnaissance

0 引言

通信侦察是电子对抗的关键任务之一,在以往信号密度不高,通信信号样式不多的环境下,实施通信侦察相对而言比较容易。随着电磁环境日益复杂,要完成侦察任务就实非易事了。在没有任何先验信息的条件下,对源信号进行分析识别和特征提取的过程,称为“盲侦察”。通信信号的“盲侦察”问题是通信侦察技术中很值得研究的新课题^[1]。

要实现盲侦察,首先就要对混合在一起的多个源信号进行分离,本文采用盲源分离算法(BSS)进行信号分离^[2-3]。近几年,尝试将多种BSS算法应用于通信信号侦察领域,能够在没有任何先验知识的情况下,实现多路混叠通信信号的

可靠分离,充分说明算法的有效性和技术上的可行性^[4]。现有盲源分离算法一般都将通信信号作为亚高斯信号来处理。但是在现代通信中,由于信号形式多种多样,无法预知源信号是超高斯还是亚高斯信号^[5],这给信号的盲源分离带来了一定的难度。针对这一情况,本文提出一种改进的基于峭度的盲源分离算法,仿真实验选取超高斯和亚高斯混合通信信号进行盲分离,结果验证了该算法的有效性。

1 盲源分离与通信信号盲侦察技术

假设从 n 个信号源发射的信号向量为 $\mathbf{s}(t)=[s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t)]^T$,其中 $s_i(t)$ 表示第 $i(i=1,2,\dots,n)$ 个信号源在 t 时刻发射的信号, n 个信号源之间相互独立。从 n 个天线接收到的信号向量为 $\mathbf{x}(t)=[x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$,其中 $x_j(t)$ 表示第 $j(j=1,2,\dots,n)$ 个接收天线在 t 时刻观测到的信号值。混合矩

收稿日期: 2009-02-06。

作者简介: 李莉(1985-),女,硕士研究生,主要研究方向为盲信号处理;崔琛(1962-),博士生导师,教授,主要研究方向为通信信号处理、通信系统仿真。

阵为 $A \in C^{n \times n}$ ，则有 $x(t) = As(t)$ 。盲源分离问题的提法是：在混合矩阵 A 和源信号未知的情况下，只根据观测数据向量 $x(t)$ 确定分离矩阵 W ，使得变换后的输出为 $y(t) = Wx(t) = WAs(t) = Gs(t)$ 。本文研究的是信号线性混叠的情况，为表述方便，后面均将 t 省略。

在通信侦察中，假设在不同地方有 n 个源信号，同时观测到 n 个信号，源信号之间相互独立。在没有其它先验知识的条件下，仅仅通过观测信号，分离出 n 个源信号的时域波形，并运用相应的信号处理技术，进行信号的特征提取和匹配，完成信号的分析识别。基于上述思想所进行的通信侦察就是所谓的通信信号盲侦察技术。显而易见，以上问题符合 BSS 模型，可以用相关算法进行求解。

2 盲源分离在通信信号盲侦察中的应用

2.1 基于互信息最小化的 BSS 算法

目前，对 BSS 的数学描述采用的都是独立成分分析 (ICA) 模型。以基于 ICA 的互信息最小化方法^[2]为例，其目标函数形式为 $J(W) = -E(\sum_{i=1}^n \log p_i(y_i)) - \log |\det W|$ 。利用自然梯度法对目标函数进行优化，得到分离矩阵 W 的迭代公式为：

$$W(k+1) = W(k) + \eta [I - \phi(y(k))y^T(k)]W(k), \quad (1)$$

式中 η 为学习率， $\phi(y(k)) = [\phi_1(y_1), \phi_2(y_2), \dots, \phi_n(y_n)]^T$ ，其中 $\phi(y(k))$ 被称作激活函数，其形式为：

$$\phi_i(y_i) = -\frac{\partial \log p_i(y_i)}{\partial y_i} = -\frac{p'_i(y_i)}{p_i(y_i)}, \quad (2)$$

其中， $p_i(y_i)$ 是信号 y_i 的概率密度函数 (PDF)。与信号 PDF 有关的一个重要概念是信号的峭度，其归一化定义为 $k = \frac{m_4}{m_2^2} - 3$ ，其中， m_2 和 m_4 分别指信号的二阶矩和四阶矩。当信号为高斯信号时， $k = 0$ ；当信号为超高斯信号时， $k > 0$ ；当信号为亚高斯信号时， $k < 0$ 。

2.2 改进的基于峭度的盲源分离算法

由式 (2) 可知，激活函数和信号的概率密度之间有着密切的关系。但是由于源信号的统计特征是未知的，只能对其概率密度进行估计。实际上即使无法完全准确地估计出信号的概率密度，只要满足稳定性条件，对结果也没有太大的影响^[6]。一般而言，可以采用较为简单的非线性函数代替激活函数。根据经验，若源信号为亚高斯信号，激活函数选为：

$$\phi(y) = y^3, \quad (3)$$

在文献[7]中，针对不同幅度的亚高斯通信信号的分离问题，提出了一个更好的激活函数：

$$\phi(y) = (5/8)y^3 + (3/8)y^5, \quad (4)$$

采用该激活函数，算法的收敛速度得到了显著的提高，性能也较为稳定。若源信号为超高斯信号，激活函数选为：

$$\phi(y) = \tanh(y). \quad (5)$$

目前大部分的通信信号均为亚高斯信号，但在现代军事

通信中，由于信号形式不断翻新，无法预知敌方信号是超高斯信号还是亚高斯信号^[5]。当源信号中同时混有超高斯和亚高斯信号时，虽然在超高斯信号峭度较小的情况下，选择式

(3) 作为激活函数仍有较好的分离效果。但是如果其中超高斯信号的峭度较大，采用上面所描述的方法就难以实现信号的盲源分离了。针对这一问题，为了使算法具有普适性，提出一种改进的基于峭度的盲源分离算法，其基本思想是利用估计信号 y 的峭度来近似代替源信号的峭度，根据峭度自适应地确定激活函数 $\phi(y_i)$ 。在第 q 次迭代过程中，估计信号 y_i 的峭度 $k_i^{(q)}(y_i)$ 计算公式为^[8]：

$$k_i^{(q)}(y_i) = m_{4i}^{(q)} / (m_{2i}^{(q)})^2 - 3, \quad (6)$$

其中，信号二阶矩和四阶矩可由滑动平均 (MA) 进行估计：

$$m_{4i}^{(q)} = (1 - \eta_0)m_{4i}^{(q-1)} + \eta_0 |y_i(q)|^4, \quad (7)$$

$$m_{2i}^{(q)} = (1 - \eta_0)m_{2i}^{(q-1)} + \eta_0 |y_i(q)|^2, \quad (8)$$

这里， η_0 为遗忘因子，通常取一较小的常数。计算结束后根据各个估计信号的峭度选择激活函数：若峭度小于 0，则激活函数选择式 (4)；若峭度大于 0，则激活函数选择式 (5)。

本文改进的基于峭度的盲源分离算法描述如下

- ① 对混合信号进行去均值和白化处理；
- ② 计算信源峭度，确定信源种类；
- ③ 根据信源峭度选择激活函数。如果信源为亚高斯信号，选择式 (4) 表示的激活函数。如果信源为超高斯信号，选择式 (5) 表示的激活函数；
- ④ 将选出的激活函数带入式 (1) 中，进行盲源分离运算；
- ⑤ 重复步骤②~④进行迭代。

3 仿真实验

3.1 实验一

选择激活函数为 y^3 ，三个源通信信号峭度分别为 $-0.7496, -2.0000, 0.5992$ ，其幅度各不相同。采样频率为 16000Hz ，学习速率 $\eta = 0.01$ ，仿真点数为 5000，图 1 是源信号波形图，下页图 2 是分离信号波形图。实验发现，当源信号中同时混有超高斯和亚高斯信号时，如果其中超高斯信号的峭度较小（实验中峭度为 0.5992 ），选择激活函数为 y^3 ，仍可以较好地实现信号的分离。

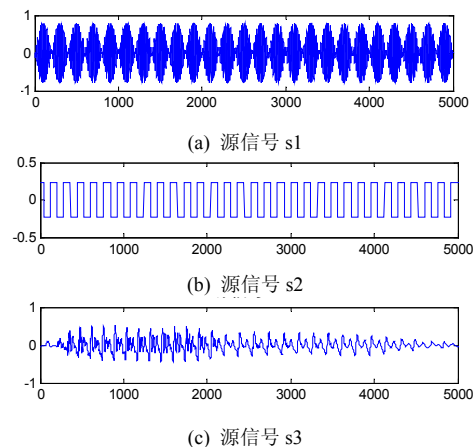


图 1 源信号波形 (峭度较小)

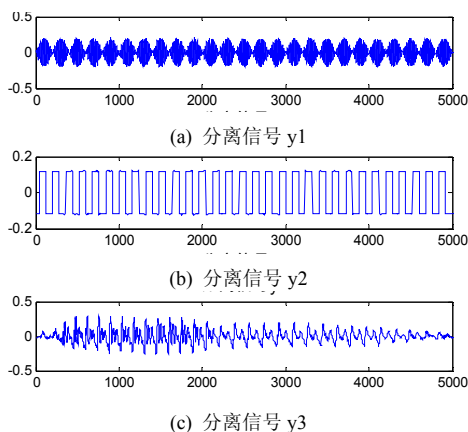


图 2 分离信号波形

3.2 实验二

三个源通信信号的峭度分别为 -0.7496 ， -2.000 ， 1.5970 ，其幅度各不相同。混合矩阵是随机产生的 3×3 的方阵。采样频率 $f_s = 16000\text{Hz}$ ，学习速率 $\eta = 0.01$ ，仿真点数为 5000 。图3是源信号波形图，图4是激活函数选取 y^3 时分离信号波形图，图5是采用本文算法时分离信号波形图，表1表示的是信号的峭度。

实验发现，当源信号中同时混有超高斯和亚高斯信号时，如果其中超高斯信号的峭度较大(实验中峭度为 1.5970)，选择激活函数为 y^3 ，信号分离效果比较差，而若采用本文提出的算法，可以较好地实现信号的盲分离。表1显示，采用本文提出的算法，分离信号的峭度和源信号的峭度已经非常接近，同样说明信源恢复较好。

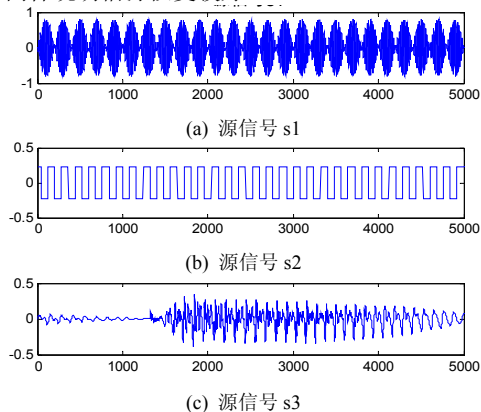


图 3 源信号波形 (峭度较大)

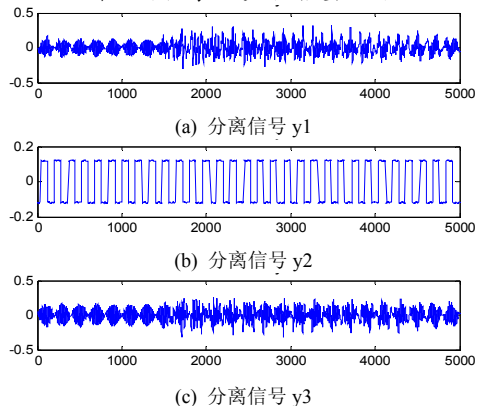


图 4 分离信号波形 (y^3)

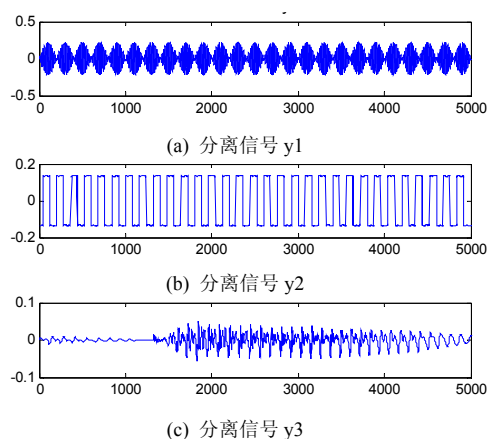


图 5 分离信号波形 (本文算法)

表 1 信号峭度

信号峭度	信号 1	信号 2	信号 3
源信号	-0.7496	-2.0000	1.5970
混合信号	-0.1646	-0.9364	-0.7054
分离信号 (y^3)	0.2670	-1.9994	-0.2244
分离信号 (本文算法)	-0.7496	-2.0000	1.5961

4 结语

本文提出一种改进的基于峭度的盲分离算法，将其应用到通信信号盲侦察中。仿真实验选取了超高斯和亚高斯混合通信信号作为源信号。实验一显示出在超高斯信号峭度较小，选取激活函数 y^3 时的分离效果。实验二在超高斯信号峭度较大的情况下，比较了选取激活函数 y^3 和采用本文提出算法时的分离效果。得出以下几点结论：

① 对于源通信信号中同时混有超高斯和亚高斯信号的情况，如果超高斯信号的峭度较小，选择激活函数 y^3 ，仍可以较好地实现信号分离。但如果超高斯信号的峭度较大，选择激活函数 y^3 ，信号的分离效果较差。说明选取 y^3 作为激活函数不具普适性；

② 将本文提出的基于峭度的盲分离算法应用在通信信号盲侦察中，实现了激活函数的自适应确定，解决了超高斯和亚高斯混合通信信号的盲分离问题。仿真结果验证了该算法的正确性和有效性；

③ 将盲分离算法应用到通信信号盲侦察中，可以在没有先验知识的情况下，将敌方通信信号从众多混合信号中分离出来，然后进行后续的分析、识别处理，从而完成盲侦察任务。盲源分离算法为通信信号盲侦察开辟了新途径，有着广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 杨小牛. 突破“瓶颈”，把握未来——通信对抗发展思考[J]. 通信对抗, 2004(02):3-8.
- [2] Yang H H, Amari S. Adaptive On-line Learning Algorithms for Blind Separation-Maximum Entropy and Minimum Mutual Information[J]. Neural Computation, 1997, 9(07):1457-1482.
- [3] Cardoso J F. Blind Signal Separation: Statistical Principles[J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 9(10):2009-2050.

(下转第 138 页)

外呼、通话、放音、挂机等事件状态的切换。具体流程是先将每种状态信息设置不同的标识值,通过不断轮询各个通道,查询通道状态,根据查询到的每个通道的状态信息执行相应的操作,执行完毕后,再对本通道状态信息进行修改,然后接着查询下一个通道,周而复始,完成所有通道的轮询。

另外,由于监听席与业务台以及应用服务器相分离,为了完成彼此间高效的相互通信,系统采用 SOCKRT 编程技术,其原理是监听席的每次操作,通过 SOCKET 发消息函数 send(...),将事先设计好的操作信息标识值(例如监听操作的标识值为 1)发送给应用服务器,应用服务器通过监听线程的 recv(...)函数接收消息并对其进行处理,然后将处理信息通过 send 函数再发送给监听席,监听席对其数据进行更新。

2.4 PSTN 网络下的准确计费技术

由于普通固话和个人手机都使用了彩铃业务,而语音卡视彩铃为通话状态,这样系统便无法完成准确计费,使用 PSTN 网络可以避免这种情况。其原理是当电话拨通后(不管有无彩铃),只要对方接通,PSTN 电信终端便会返回给语音卡一个接通的 DTMF 信号“C”,这时程序通过语音卡事件响应函数向终端发送一个 DTMF 信号“A”,相当于完成一个二次握手协议,电信终端验证通过后,电话方可正常通话,计费由此时开始,达到准确计费。

2.5 多监听席下的电话挂机处理

系统多监听席的设计方案,使得同一个局域网内会有多个监听席同时运行,每个监听席都配有一部监听电话,每部监听电话都连接在语音卡上,当这些监听电话与服刑人员所用电话同时运行时,电话的挂机情况就变得很复杂,因此系统的挂机能否高效得到处理就显得格外重要。本系统电话挂机的形式主要分内线先挂机、外线先挂机、存在三方电话会议的挂机(即存在监听和警告操作的挂机)以及强行挂机,每部监听电话运行时都是一个三方电话会议,处理方法是通过电话会议句柄 HandleMeeting 来判断各种挂机情况。其原

理是,当执行监听操作时,程序首先通过语音卡 API 函数创建一个三方电话会议,然后得到此监听通道下的电话会议句柄 HandleMeeting 值,当有电话挂机时,判断挂机通道所属电话会议的句柄是否与 HandleMeeting 值相等,如果相等表示存在监听操作的挂机,此时将这个电话会议的各个通道里的相关信息清空、通道复位,之后更新数据库电话卡费用,否则,按无三方电话会议的挂机处理。

3 结语

本系统基于 CTI 技术,通过对系统总体结构的设计,提出了基于 CTI 技术的系统组成结构,在实现了射频识别技术、语音转换技术、面向对象的多线程和 SOCKET 编程技术、PSTN 网络下的准确计费技术以及多监听席下的电话挂机处理技术等技术后,完成了一套智能亲情电话系统 ITMS,此系统能够提供完善的电话拨打及录音管理系统,可以控制多路犯人电话的外拨(只能拨打亲属的几个电话),拨打过程可由监听席管理员实时监控,并能完成自动录音及准确无误的计费等业务功能等,该系统已在某监狱得以应用,用户反映良好。

参考文献

- [1] 张杨工作室. Dialogic 从入门到系统工程师[M]. 北京:中国计算机通信和计算机语音集成技术出版社, 2002:117-120.
- [2] 孙斌. 基于 CTI 技术的呼叫中心的设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学, 2008:136-140.
- [3] 欧阳江林, 黎浩宏. 应用语音卡实现电话语音查询的技术[J]. 计算机与现代化, 2005(04):102-106.
- [4] 周敬东, 王元芳, 周明刚, 等. 基于 CTI 技术的自助电费充值系统的设计与实现[J]. 通信技术, 2009, 42(01):67-72.
- [5] 林晓勇, 徐名海, 阎巩平, 等. 企业级 CTI 应用平台开发研究[J]. 通信技术, 2008, 41(10):19-23.

(上接第 132 页)

化的技术手段,解决了家校联系难题。装置具有投资小,收益快,成本低等特点,信息传递快速,操作简便,成本低廉,市场前景看好,具有一定的可扩展性。

参考文献

- [1] 李齐雄, 郑颜雄, 蔡孟昌. HOLTEK HT48 系列单片机原理及应用实例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005.

(上接第 135 页)

- [4] 付卫红, 杨小牛, 曾兴雯, 等. 适用于通信侦察的信号盲分离算法[J]. 南京理工大学学报:自然科学版, 2008, 32(02):091-491.
- [5] 付卫红, 杨小牛, 曾兴雯, 等. 基于概率密度估计盲分离的通信信号盲侦察技术[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2006, 34(10):24-27.

- [2] 连承华, 乔毅, 王长友. 一种远程换热站系统的通信方式[J]. 通信技术, 2009, 42(04):195-197.
- [3] 郑启忠, 朱宏辉, 耿四军. 2.4GHz 射频收发芯片 nRF2401 及其应用[D]. 武汉:武汉理工大学, 2006.
- [4] 王文虎, 任艳惠, 赵波. 基于 nRF2401 的汽车轮胎温度监测装置设计[D]. 常德:湖南文理学院电气工程系, 2005.
- [5] 吴兴中, 欧青立. 一种 PC 与单片机多机 RS232 串口通信设计[D]. 湘潭:湖南科技大学信息与电气工程学院, 2005.

- [6] Cardoso J F, Laheld B. Equivariant Adaptive Source Separation[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1996(44):3017-3030.
- [7] 孙守军, 郑君里, 赵敏, 等. 不同幅度通信信号的盲源分离[J]. 通信学报, 2004, 25(06):132-138.
- [8] 牛龙, 马建仓, 王毅, 等. 一种新的基于峭度的盲源分离开关算法[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(01):185-188.