

doi: 10.7690/bgzdh.2016.05.008

基于 Infomax 的偏亚高斯信号盲源分离算法

王振伟, 许刚

(解放军陆军军官学院基础部数学教研室, 合肥 230031)

摘要: 针对独立分量分析(ICA)算法在实际应用中会出现混合信号的分离而导致伪解的问题, 提出一种有效分离的有偏亚高斯信号信息极大化(information maximization, Infomax)算法。介绍了 ICA 和 Infomax 算法的基本原理, 采用 Infomax 算法, 从语音信号中分离出话音信号, 使修改后的模型能较好地逼近非对称分布的源信号, 并通过仿真实验进行验证。实验结果证明: 该算法具有可逼近非对称的亚高斯源信号, 能够获得较好的分离质量和收敛速度。

关键词: 信息极大化算法; 偏亚高斯信号; 渐进稳定性; 峰度

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

An Algorithm for Blind Source Separation to Sub-gaussian Distribution Signal Based on Infomax

Wang Zhenwei, Xu Gang

(Staff Room of Math, Department of Basic, PLA Artillery Academy, Hefei 230031, China)

Abstract: ICA algorithm will cause mix signal separation and extraneous solution in application, put forward an effective separated information maximization algorithm of sub-Gaussian distribution. Introduce basic principle of ICA and Infomax algorithm, use Infomax algorithm, separate voice signal from pronunciation signal. Make the modified model can be close to asymmetric distribution source signal, then verify it by simulation. The test results show that: the algorithm can be very close to asymmetric sub-Gaussian source signals, then it can acquire great separation quality and faster convergence speed.

Keywords: information maximization algorithm; sub-Gaussian signals; asymptotic stability; kurtosis

0 引言

独立分量分析(independent component correlation algorithm, ICA)是近年来从盲源分离中发展起来的一项前沿信号处理技术, 能够有效地降噪并把信号中有效信息挖掘出来。ICA 算法以非高斯信号为研究对象, 在假设源信号各分量间相互独立的情况下对多路观测信号进行盲信号分离, 已在生物医学、天线阵列、通信信号、语音信号、图像恢复等方向取得了许多成果。ICA 算法的发展分为 2 种趋势: 一是研究它的基础理论以及新的算法; 二是将其他研究领域的研究成果扩展到其中来, 更偏向于实际的应用^[1-4]。但是, ICA 算法在实际应用中有时也会出现混合信号的分离效果可能得到伪解的情况。归根结底, 是由于推导 ICA 算法时所做的一些假设并非对所有情况都成立。这就需要对 ICA 的数学模型作严谨的分析, 而不仅仅是给出一些定性、模糊的解释。在 ICA 的诸多算法中, 信息极大化(information maximization, Infomax)算法具有十分重要的意义。笔者从 Infomax 算法入手, 针对亚高斯信号, 构建较为合适的非线性函数, 使

得修改后的模型能对分布不对称的源信号建模, 扩展了 Infomax 算法的应用范围, 并证明了该算法的渐进稳定性。

1 扩展的 Infomax 算法

1.1 独立分量分析 ICA 基本原理^[1,5]

ICA 基本模型可描述为: $\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}\mathbf{s}(t)$ 式中 \mathbf{A} 为 $N \times N$ 的混合矩阵; $\mathbf{x}(t)$ 为 m 维观测信号矢量; $\mathbf{s}(t)$ 为 N 个统计独立的原信号组成的列向量, 且其中至多只有 1 个为高斯分布。其目的是寻求 \mathbf{A} 的逆 \mathbf{B} , 解得独立分量 $\mathbf{s}(t) = \mathbf{B}\mathbf{x}(t)$ 。它的基本原理如图 1。

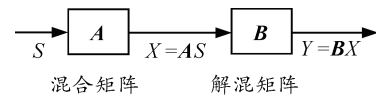


图 1 ICA 的简单框式说明

ICA 基本求解过程: 在信源 $\mathbf{s}(t)$ 中各分量互相独立的假设下, 由观察 $\mathbf{x}(t)$ 通过解混系统 \mathbf{B} 首先“球化”输出 $\mathbf{z}(t)$, 使之各分量方差为 1, 且保持互不相关(但未必相互独立); 其次, “正交变换”, 使输

收稿日期: 2016-02-01; 修回日期: 2016-03-11

基金项目: 2012 装备预研基金(914A17050312JB91202)

作者简介: 王振伟(1979-), 女, 河北人, 硕士, 讲师, 从事应用概率统计研究。

出 y_i 的方差为 1，尽可能相互独立，使输出 $y(t)$ 逼近 $s(t)$ 。此第二步是线性系统的解混处理的基本环节。

1.2 Infomax 算法

1988 年 Linsker 首先提出了 Infomax 原则，即信息传输极大原则。可描述为：网络的输入端和输出端的互信息达到最大时，等价于输出端各分量间的冗余信息得到去除。Infomax 算法的处理流程如图 2 所示。

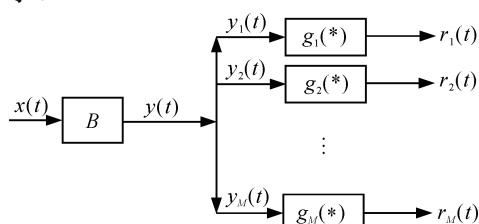


图 2 Infomax 算法处理框图

由上图可知，算法的基本判据是在给定合适的 $g_i(y_i)$ 后，使得输出 r 的总熵量 $H(r)$ 极大。 $H(r)$ 可表示为

$$H(r) = H(x) + \int p(x) \log[B \prod_{i=1}^M g'_i(y_i)] dx \quad (1)$$

$H(x)$ 与系统参数 B 无关， $H(r)$ 极大即为要求在以 $p(x)$ 为 PDF 的意义下使得 $E\left\{\log[B \prod_{i=1}^M g'_i(y_i)]\right\}$ 极大，所以确定其最大参数有非线性函数 $g_i(y_i)$ 和 B 。

使用随机梯度下降优化算法，用瞬时或随机梯度代替真实梯度，即得到随机梯度算法为

$$\Delta B = \mu_k [B^{-T} - \psi(y(k))x^T(k)] \quad (2)$$

其中： μ_k 为步长； $\psi(y) = \left[-\frac{g_1''(y_1)}{g_1'(y_1)}, \dots, -\frac{g_M''(y_M)}{g_M'(y_M)}\right]$ ，

$g(\bullet)$ 为给定的非线性函数。

但是此法须计算 B 的逆且计算容易出现病态，故 Amari 考虑以自然梯度代替常规梯度，相应的系数调节算法调整为：

$$\Delta B = \mu_k [I - \psi(y(k))y^T(k)]B(k) \quad (3)$$

其中 $g_i(y_i)$ 的选取是至关重要的，较常采用 Sigmoid

函数和 pearson 系统模型来估计^[6]，无论选择何种模型作为亚高斯模型的估计，都要考虑其归一化峰度：

$$\text{Kurt}(y) = \frac{\text{cum}_4(y)}{(\text{cum}_2(y))^2} = \frac{E(y^4) - 3E(y^2)^2}{(E(y^2))^2}$$

根据所选 $g_i(y_i)$ 可得到 $\text{Kurt}(y)$ 的取值，当源信号 $\text{Kurt}(y) > 0$ 时称为超高斯信号， $\text{Kurt}(y) < 0$ 时称为亚高斯信号。

2 针对偏亚高斯信号的 Infomax 算法

Infomax 算法能适合于包括具有超高斯和亚高斯在内的绝大多数分布类型信源的盲源分离问题。但是在语音分离中接触到大多数信号都是分布不对称的有偏亚高斯信号，而 Infomax 算法假设源信号的概率分布是对称分布的；因此，当分离的源信号为非对称分布时，传统模型不能很好地逼近源信号真实的分布，分离的效果变差。为此，考虑修改 Pearson 模型，使其偏度不再为零：

$$p(x) = \frac{1}{3} N(\mu, \sigma^2) + \frac{2}{3} N(-\mu, \sigma^2) \quad (4)$$

其非线性函数为

$$g(x) = -\frac{p'(x)}{p(x)} = \frac{x}{\sigma^2} - \frac{\mu}{\sigma^2} \left(\frac{1 - 2e^{-\frac{2\mu x}{\sigma^2}}}{1 + 2e^{-\frac{2\mu x}{\sigma^2}}} \right) \quad (5)$$

归一化峰度，代入式 (3) 可得

$$\text{kurt}(x) = \frac{-\frac{224}{27} \mu^4}{\left(\frac{8}{9} \mu^2 + \sigma^2\right)^2} < 0 \quad (6)$$

所以考虑利用式 (4) 逼近非对称的亚高斯分布。

3 仿真试验

针对一段非对称的混合语音数据，笔者分别进行 3 次录制，如图 3 所示。笔者利用文中提出的 Infomax 算法进行了分离，如图 4^[7]所示。具体步骤为：1) 预白化处理；2) 计算观察信号的样本矩；3) 根据式 (5) 计算模型；4) 用式 (3) 进行迭代，计算出 $B(k+1)$ ，如果 $B(k+1) \approx B(k)$ 则结束算法，否则回到第 2) 步。

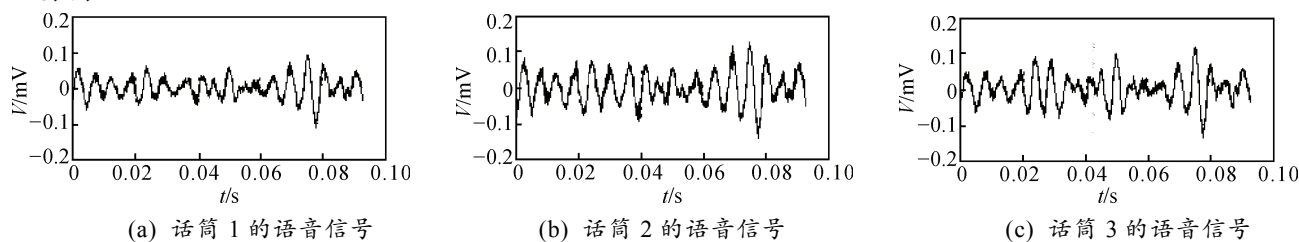


图 3 3 个话筒录制出的 3 段语音信号

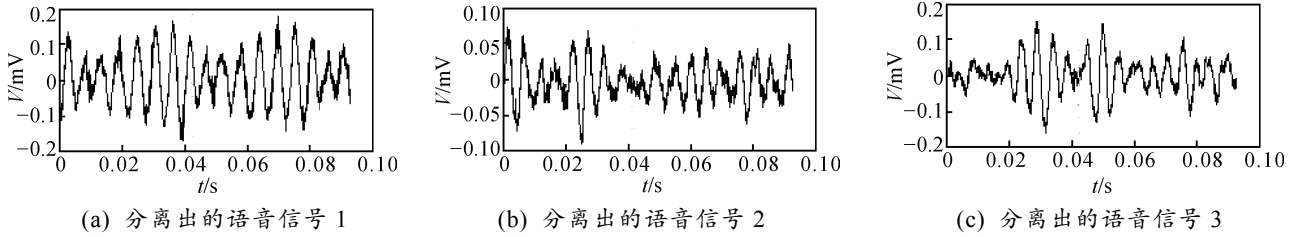


图 4 利用 Infomax 法分离出的 3 种信号

首先对图 3 所示的混合信号进行去均直和白化的预处理，采用模型算法对它进行分离，步长均取 0.01。试验分别独立进行 50 次，并取平均，得到 50 次平均的性能指数，如图 4 所示。语音分离前后的峰度比较如表 1 所示。由表 1 可知：具有较好的分离性能，并且收敛速度损失不大。

表 1 Infomax 语音分离算法性能

语音	峰度		收敛步数	分离后播放效果
	分离前	分离后		
1	5.143 5	8.340 1	60	语音分离效
2	5.264 3	10.146 3	60	果好，且较
3	5.713 6	15.021 4	60	清楚

4 结论

文中模型提出的非线性函数相比于传统的 Infomax 算法更具一般性，并且通过实例证明了该算法对于不对称亚高斯分布源信号的稳定性。实验结果证明：该非线性函数可以逼近非对称的亚高斯源信号，且能够获得较好的分离质量和收敛速度。篇幅所限，笔者只对非对称的亚高斯源信号盲分离进行了研究，下一步，将对其他信号进行研究。

(上接第 25 页)

分离元件实现 FlexRay 总线被动星型拓扑结构的阻抗调节，其推荐的值如表 10 所示。

表 10 被动星型拓扑阻抗调节器推荐

阻抗调节	典型值
信号线串联电阻 R_1/Ω	22
信号线串联电感 L_1/nH	220
线缆屏蔽层串联电阻 R_2/Ω	100
线缆屏蔽层串联电感 L_2/nH	220
线缆屏蔽层到系统地之间端接电阻 $R_3/M\Omega$	1
线缆屏蔽层到系统地之间端接电容 C_1/nF	100

4 总结

笔者根据 FlexRay 总线的物理层协议，对 FlexRay 总线应用过程中器件的选取要求及参数进行了归纳，严格按照 FlexRay 总线物理层协议进行器件选型，使设计出的 FlexRay 总线系统在抗干扰、

参考文献:

- [1] 杨福生. 独立分量分析的原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 69.
- [2] Amari S, Chen T, Cichocki A. Stability analysis of adaptive blind source separation[J]. Neural Networks, 1997, 10(8): 1345-1351.
- [3] Ozerov A, et al, Adaptation of Bayesian models for single channel source separation and its application to voice/music separation in popular songs[J]. IEEE Trans on Audio, Speech and Language Processing, 2007, 15(5): 1564-1578.
- [4] 孙守宇, 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(6): 132-138.
- [5] 蒋慧君, 王耀明, 王沛. 基于 Pearson 系统模型的盲信号分离研究[J]. 计算机应用与软件, 2007, 24(4): 150-151.
- [6] SAWADA Hiroshi, et al. Blind extraction of dominant target sources using ICA and time-frequency masking[J]. IEEE trans on Audio, Speech and Language Processing, 2006, 14(6): 2165-2173.
- [7] LEE T W, GIROLAMI M, SEJNOWSKI T J. Independent component analysis using an extended infomax algorithm for mixed subgaussian and supergaussian sources[J]. Neural Computation, 1999, 11(3): 417-441.

防静电等方面性能优异。

参考文献:

- [1] Consortium F. FlexRay Communication System Electrical Physical Layer Specification Version 3.0.1[M]. FlexRay Consortium, October 2010: 3-32.
- [2] Consortium F. FlexRay Communications System Protocol Specification, Version 3.0.1[M]. FlexRay Consortium, October 2010: 30-40.
- [3] Consortium F. FlexRay Communications System Electrical Physical Layer Application Notes: Version 3.0.1[M]. FlexRay Consortium, October 2010: 8-17.
- [4] Consortium F. FlexRay Communications System Electrical Physical Layer Conformance Test Specification: Version 3.0.1[M]. FlexRay Consortium, October 2010: 25-39.
- [5] Consortium F. FlexRay Communications System Electrical Physical Layer EMC Measurement Specification Version 2.1[M]. December 2005: 9-12.