

# 基于ICA的同频信号盲源分离

芦伟东

(国家无线电监测中心哈尔滨监测站, 黑龙江 哈尔滨 150010)

**摘要:** 简要介绍了独立分量分析的原理和特点, 将FastICA算法应用于分离实际监测工作中采集的音频信号, 仿真实验表明, 独立分量分析测量方法可以有效分离混合信号, 为实际监测工作中分离同频信号提供了一种新的思路。

**关键词:** 盲分离; 独立分量; 同频信号

doi: 10.3969/J.ISSN.1672-7274.2021.07.026

中图分类号: TN92, TN98

文献标示码: A

文章编码: 1672-7274 (2021) 07-0055-03

## Blind Source Separation of Co-Frequency Signal Based on ICA

LU Weidong

(State Radio Monitoring Center Harbin Monitoring Station, Harbin 150010, China)

**Abstract:** In this paper, the principle and characteristics of independent component analysis (ICA) are briefly introduced, and the FastICA algorithm is applied to separate the audio signals collected in the actual monitoring work. The simulation results show that the ICA measurement method can effectively separate the mixed signals, which provides a new idea for separating the same frequency signals in the actual monitoring work.

**Keywords:** blind source separation; independent component; co-frequency signal

### 0 引言

为了充分用好有限的频谱资源, 现代无线电通信常需共用同一频率。在整个频段带宽只有30MHz的短波频段, 频率共用更是普遍现象。在日常的短波无线电监测工作中, 有时可能在同一个频率上同时收到来自不同发射机的两个或更多个信号混杂在一起的混合信号, 这对后续的信号分析工作带来困难。因此, 在现有条件下找到合适的同频信号分离方法, 具有重要研究意义。无线电监测属于非协作通信, 通过监测捕获的信号往往没有先验信息, 所以分离监测到的同频信号属于盲源分离的范畴<sup>[1]</sup>。

### 1 盲源分离

在一个鸡尾酒会上, 多个人一起说话, 输入到多个麦克风, 如何从混合信号中分离出每个人说话的声音? 由此引出了盲源分离问题<sup>[2-3]</sup>。由于缺乏先验信息, 对观测到的信号进行盲分离具有以下两个特点: 一是观测信号通过盲分离后得到的输出源信号顺序不确定; 二是输出源信号幅度不确定。但这并不影响盲分离的应用, 可以通过信号波形得到源信号所携带的主要信息。盲源分离过程如图1所示。



图1 盲源分离流程

绝大部分的盲源分离方法属于无监督学习方法, 需要基于某种理论构造目标函数, 常被采用的目标函数包括: 高阶累积量、最大似然估计、互信息量和负熵等。

独立分量分析 (ICA, Independent Component Analysis) 属于高阶累积量分析方法, 是目前解决盲源分离问题的重要方法之一。

### 2 ICA 基本原理

设  $S(t)$  为  $N$  个统计独立的输入信号, 经过  $A$  信道传输后, 在接收端得到  $M$  个观测信号  $X(t)$ , 则

$$X(t) = AS(t) + n(t) \quad t=1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式中,  $X(t)$  为  $M$  维矢量;  $S(t)$  为  $N$  维矢量;  $n(t)$  为  $M$  维加性信道噪声;  $A$  为  $M \times N$  维混合矩阵, 且  $M \leq N$ 。Y 为解混后得到的信号, ICA 传输模型如图2所示。



图2 ICA模型

由图2可知, ICA 的主要目标就是要使输出信号  $Y$  无限接近源信号  $S$ , 这实际上就是一个不断寻优的过程, 仅需找到矩阵  $B$ , 使其成为  $A$  的最佳估计逆矩阵即可求解出  $Y$ 。ICA 方法还需满足源信号相互统计独立、各矢量均值为零和至多有一个是高斯信号的约束条件。



图3 ICA算法流程

ICA 算法流程如图3所示。其中数据预处理操作的目的是简化算法和消除后续算法执行过程中可能出现的错误, 预处理可以分为以下几种类型: 一是中心化, 对输入变量进行中心化处理, 使各矢量均值为零; 二是白化, 使变量去相关, 实现统计独立; 三是主成分降维,

实现简化算法；四是降噪，消减噪声的影响。

ICA 的估计方法由目标函数和优化算法组成<sup>[4-5]</sup>。在指定目标函数的情况下，可以任选随机梯度等经典的优化算法。理想情况下，ICA 方法的鲁棒性、一致性等统计性质和算法的收敛速度等算法性质是相互独立的，即对于同一个目标函数可以使用不同的优化算法，同一个优化算法，可以适用于不同的目标函数。ICA 算法分类如图4所示，这些算法都是在源信号相互间的统计独立性和非高斯性的基础上建立起来的。

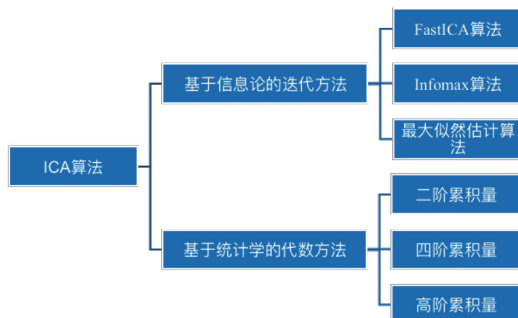


图4 ICA算法分类

其中，FastICA 算法已经成为目前盲源分离领域应用最广泛的算法之一。结合当前无线电监测系统硬件系统不易改动的现实情况，寻求仅在软件层面解决同频信号分离的问题，可以尝试将 FastICA 算法应用实际无线电监测工作中，实现同频信号的分离。

### 3 FastICA 算法仿真

快速独立分量算法 (FastICA, Fast Independent Component Algorithm) 又称为不动点 (Fixed-Point) 算法，是在 ICA 算法的基础上发展起来的，选用了定点迭代的方法，在保证算法稳定性的同时，达到更快的收敛速度。FastICA 算法包括基于负熵最大、似然最大和峭度最大等形式，本文应用基于负熵最大的 FastICA 算法，其优点是可以结合不动点迭代的优良特性和负熵更好的统计特性<sup>[6-9]</sup>。

FastICA 算法的迭代公式为：

$$w_{n+1} = E\{Xg(w_n^T X)\} - E\{g'(w_n^T X)\} w_n \quad (2)$$

$$w_{n+1} = w_n / \|w_n\| \quad (3)$$

式中， $E[\cdot]$  为均值计算； $g[\cdot]$  为非线性函数； $X$  为观察信号； $w$  为分离矩阵向量。

FastICA 算法的主要实施步骤：

①对观测信号  $X$  去中心化，使其均值为零；

②然后进行白化处理，得到  $Z = w^T X$ ；

③选择一个具有范数的随机向量  $w$ ；

④更新  $W \leftarrow E\{Zg(w^T Z)\} - E\{g'(w^T Z)\} w$ ，常用的函数  $g$  有： $g_1(y) = \tanh(a_1 y)$ ； $g_2(y) = y \cdot \exp(y^2/2)$ ；

$g_3(y) = y^3$ ；

⑤标准化， $W \leftarrow w/\|w\|$ ；

⑥若未收敛，则返回④。

在实际监测过程中分别采集两段比较清晰的模拟语音信号，一个为中文广播，另一个为英文广播，混合后通过 FastICA 算法进行解混，过程和结果如图5所示。

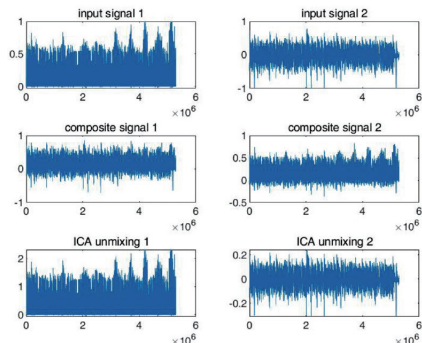


图5 模拟语音信号解

从图5中可以看出，解混效果良好，达到了信号分离的目的。再分别采集 SITOR-ARQ 和 SITOR-FEC 数字音频信号，混合后通过 FastICA 算法进行解混，结果如图6所示。

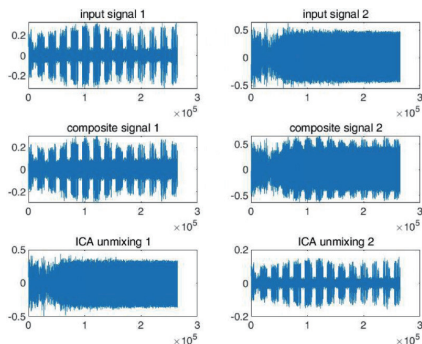


图6 数字信号解混

从图6可以看出，解混效果良好，后续对多路数字信号进行实验也得到了比较理想的结果，在此不再赘述。

### 4 结束语

本文针对实际监测工作中可能遇到同频信号，无法直接进行后续信号分析，影响工作效率的问题，提出将 FastICA 算法应用于实际信号分离工作中。在不改变任何硬件设施的前提下，尝试仅通过软件方式解决同频信号分离的问题。对于最常见的双信号混合的情况，分别对模拟语音和数字混合信号进行解混，得到了较理想的仿真实验结果，给同频信号分离提供了一种新的思路。

### 参考文献

[1] 彭赛阳，王振华，朱元清. 盲源分离现状及发展 [J]. (下转第 62 页)

本层主要采用中间件技术进行数据的处理。采用的中间件为 RabbitMQ 和 Storm, 以及数据传输通信模块。Storm 中间件技术凭借免费开源、分布式、高容错的实时计算系统, 完成数据采集及数据处理, 并将处理的数据存入数据单元中。RabbitMQ 位于数据传输通信模块与 Storm 之间, 主要解决上述两个模块解耦合, 降低协议处理器在高并发时出现的阻塞情况。Storm 组件用于将终端上传的数据按照指定协议解析为标准格式数据并存入相应数据库。同时采用负载均衡技术进行处理。负载均衡, 如图2所示。

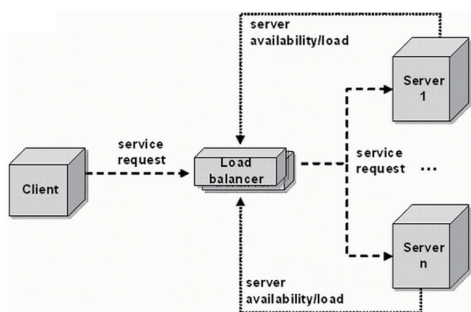


图2 负载均衡图

## 2.4 云服务管理层技术

云服务管理层用于对数据库操作的管理和平台应用层业务数据请求及响应, 主要存储设备业务数据和状态数据。本层采用三种开源数据库技术进行数据管理任务, 分别是 MySQL 数据库、MongoDB 数据库、Redis 数据库。用于存储设备数据分为业务数据、实时数据、历史数据。

## 2.5 平台应用层处理

业务数据包括用户信息、组织机构信息、权限与资源信息、设备信息、参数信息、数据中继器信息、采集协议信息、数据采集终端信息。

实时数据表示设备的最新状态, 会首先存储在 redis 中, 然后拷贝一个副本存入 mongodb 中。

历史数据是用于平台生成运行日志和数据分析, 因此历史数据需要具备可快速查询的存储方式。在协议处

理器中需要设置一个周期性执行的自动任务, 其主要功能是从 mongodb 中查询出未聚合的设备数据, 并将其写入到设备的基础文档中, 自动任务根据业务的不同可灵活设置。利用上述的设计模式, 可以快速进行图表、图形及曲线统计功能。

## 2.6 业务应用端

业务应用端可分为 Web 页面系统、手机 app (Android+IOS)、微信服务号及小程序。

如图3所示, WEB 页面系统分为前端系统及后台系统, 前端系统供客户使用具体的业务功能, 包括数据实时展现、工艺流程图查询、轨迹回放等。后台系统主要用于基础数据建立、权限管理等。

手机 app 主要用于数据的实时监控、告警信息接收、视频监控、站点定位等功能。

微信服务号则便于企业向用户推送服务信息, 宣传企业产品及服务。

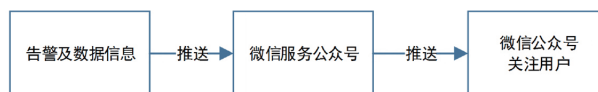


图3 消息推送流程图

## 3 结束语

基于物联网技术的 LNG 船舶监管平台提高了 LNG 趸船站、岸基站、船舶燃料设备的运营管理效率。全方位对 LNG 趸船站、岸基站、船舶燃料设备安全运行提供了有效的管理保障, 为设备运行数据进行了科学的大数据分析, 从而实现了 LNG 趸船站、岸基站、船舶燃料设备的信息化与智能化管理, 具备较大的推广价值。

## 参考文献

- [1] 陈龙. 物联网信息安防 [J]. 物联网智慧城市, 2011 (2).
- [2] 孙建华. 车辆 GPS 远程监控系统开发 [J]. 现代电子技术, 2012, 35 (17).
- [3] FIKENZELLER Klaus. 射频识别技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [4] 腾英岩. 多核多线程技术 [M]. 大连: 东软电子出版社, 2012.
- [5] 黄婷. 盲信号分离 fast-ICA 算法研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [6] 同晓荣. 基于负熵最大的 FastICA 语音信号分离算法 [J]. 火力与指挥控制, 2017, 42 (8): 101-104, 110.
- [7] 王艳芳, 王敏. 一种基于非负矩阵分解的改进 FastICA 盲源分离方法 [J]. 江苏科技大学学报 (自然科学版), 2018, 32 (2): 232-236.
- [8] HYVARINEN A. Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis [J]. IEEE transactions on Neural Networks, IEEE, 1999, 10 (3): 626-634.
- [9] 陈锡明, 黄硕翼. 盲源分离综述 - 问题、原理和方法 [J]. 电子信息对抗技术, 2008, 23 (03) 2: 1-5.
- [10] 张伟伟. 盲源分离算法研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学硕士学位论文, 2007.
- [11] 刘洋, 吴新杰. 独立成分分析方法的研究及应用 [J]. 沈阳教育学院学报, 2006, 8 (03) 1: 125-126.
- [12] Aapo Hyvarinen 著, 周宗潭译, 独立成分分析 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.

(上接第 56 页) 船舶电子对抗, 2016, 39 (3): 54-57, 62.