

单通道通信信号盲分离方法的研究

马瑞林*, 刘桂杓, 吕克菲

新疆农业大学计算机与信息工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052

摘 要 : 盲信号分离 (BSS) 是一种进行复杂电磁环境中混叠信号综合处理的技术手段, BSS 技术可以实现在不知道传输信道参数的状态之下, 实现对期望信号较少的相关假设条件的处理, 进行混叠信号的有效分离。单通道盲信号分离 (SCBSS) 技术中融合深度学习等算法, 可以有效提高计算质效, 增强分离性能。在海量的信息数据中构建基于信号内部的特征关系则可以获得求解。基于数据驱动方式进行处理, 无需分析通信信号模型, 将深度神经网络 (DNN) 以及深度学习 (DL) 进行处理, 进行数据的拟合处理, 实现分离, 则可以弱化模型产生的影响。通过分析单通道通信信号盲分离方法, 了解其存在的问题以及发展趋势, 以供参考。

关 键 词 : 单通道通信信号盲分离方法; 智能化; 数据驱动

Research on Blind Separation Methods For Single Channel Communication Signals

Ma Ruilin *, Liu Guibiao, Lv Kefei

College of Computer and Information Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052

Abstract : Blind Signal Separation (BSS) is a technical means for comprehensive processing of mixed signals in complex electromagnetic environments. BSS technology can achieve effective separation of mixed signals by processing related assumptions with fewer expected signals without knowing the transmission channel parameters. The fusion of deep learning and other algorithms in Single Channel Blind Signal Separation (SCBSS) technology can effectively improve computational quality and enhance separation performance. Constructing feature relationships based on the internal characteristics of signals in massive information data can obtain solutions. Based on data-driven processing, without analyzing the communication signal model, deep neural networks (DNN) and deep learning (DL) are processed to fit the data and achieve separation, which can weaken the impact of the model. By analyzing blind separation methods for single channel communication signals, understand their existing problems and development trends for reference.

Keywords : blind separation method for single channel communication signals; intelligence; data driven

通过 SCBSS 技术进行处理, 对于信号的频谱没有要求, 信号可以同频也可以不同频, 在处理中效果显著。但是在 SCBSS 技术中要基于稳定的传感器数据支持之上进行综合分析, 而在实践中受到多种应用环境以及场景的影响, 导致部分通信信道系统无法有效满足实际的需求。因此单通道观测条件之下进行 BSS 技术的分析具有重要的价值。

一、基于应用逻辑 SCBSS 技术分类框架

在现代通信技术的支持下, 我国信息传输技术得到了充分的发展。在信息传输系统中为了有效提高信息传输的效率与质量, 通过多种方式进行综合处理, 充分提高系统运行的稳定性, 保障信息数据传输的科学优化。而受到高度密集型的信息数据传递影响, 频域重叠特征显著, 同时受到多空域交叉性、动态波动等多种问题的影响, 则会造成电磁信号混叠问题严重。这样则会提高

信号接收以及传递的效率与质量。SCBSS 输出的结构主要受到信号类型、分析、提取需求等多种因素的影响, 要根据具体的需求对其进行处理。而为了保障信息数据的完整性, 必须做好参数分析, 通过了解谱峰信息、探究关数字通信信号调制等基础信息方可有效满足应用需求。频谱管理、特定信号检测涉及到信号频率、宽带等多种信息数据, 为了保障信号获取符合需求, 必须对其进行时域波形分析, 但是在一些通信中的典型 SCBSS 中对于数字通信信号调制符号的相关信息更为关注^[1]。基于应用逻辑

作者简介: 马瑞林 (2002.10-), 男 (汉族), 山东济南人, 新疆农业大学计算机与信息工程学院, 本科在读, 电子信息科学与技术专业。

SCBSS技术分类如图1所示。

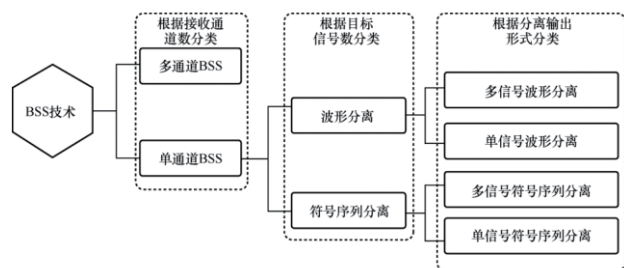


图1 应用逻辑 SCBSS技术分类

（一）信号模型

假设单通道宽带接收机获得了 M 个独立的辐射源信号构成的混合信号， X_M 则获得公式：

$$X_M = \sum_{i=1}^M a_i S_i(t) + \omega(t)$$

其中 M 通过表示信源数量，而 $S_i(t)$ 通过表示独立源信号， a_i 表示加权系数， $\omega(t)$ 通过表示加性噪声，而 X_M 则表示混合信号，各个独立的辐射源信号的时域可以实现完全的重叠，而其频域则存在一定的差异性。假设在实际中可以满足各项需求，信号的发出辐射源不同，因此信号具有独立性，符合基础条件的要求^[2]。

（二）通信抗干扰问题

基于合作通信重点进行通信信息的传输以及处理，通过目标信号参数进行分析，在了解参数信息的基础上直接的通过混叠观测的方式进行分离。

1. 公开样式信号侦查

在非合作通信中的公开样式信号侦察的问题，通过信号参数估计分析进行处理，是无法获得全面精准的信息数据的，主要就是因为多数状态之下都是基于现有的信号参数进行格式的调制以及解译处理，对此在 BSS 的分离处理中主要就是对目标信号的符号序列进行综合性的估计。

2. 非合作通信特定信号控守侦查

对于此类问题主要就是要对目标信号进行持续的跟踪关注，通过参数估计等诸多的技术手段实现分析。对此，分离系统要根据具体的目标以及要求优化处理方案，降低分离难度。其中 BSS 技术是一种通过分离系统实现处理的技术手段，其中输出的形式与信号分析、提取目标等各个流程中信号层次次、内容匹配程度较高。同时，在目标信号属于通信信号的时候，基于 BSS 任务输出的类型可以实现通过波形、序号序列两种不同的方式进行分离处理^[3]。

二、单通道通信信号盲分离方法

单通道通信信号盲分离方法主要包括多信号波形分离、单信号波形分离、多信号符号序列分离以及单信号符号序列分离几种类型，其具体如下：

（一）多信号波形分离

因为多信号波形分离处理可以在多数的应用环境中应用，基于 SCBSS 技术可以进行分离处理，可以划分为两种类型：

1. 伪多通道观测构建

利用 BSS 算法进行多信号的波形分离，在应用中最为关键的就是如果基于多通道 BSS 算法分离结果获得相关目标信号的波形参数。在构建中，可以通过 SVD 等数学工具进行处理，但是这样则会导致构建的通道无法进行多通道观测的拟合处理，导致无法实现多信号的波形分离。

利用多通道 BSS 算法进行分离处理获得的信息具有冗余性，要通过人工以及后期处理才可以获得相关信号的波形，要多次应用多通道 BSS 算法，整体上来说效果不佳。

2. 估计参数以及重构波形的算法

基于参数化模型构建一个目标信号，通过处理模型参数信息数据，对波形进行重构分析。通过多信号波形分析技术进行处理获得模型化的信息，利用数字表达的方式对获得的信号重构、分析等提供参考^[4]。

（二）单信号波形分离

单信号波形分离的主要任务就是基于混叠观测，通过分离的方式获得特定的目标信号的时域波形等信息。在对通信抗干扰以及特定信号检测中通过单信号波形分离的方式可以提高分离质量。

1. 广义谱维纳滤波算法

为了有效解决在传统时/频域滤波产生的混叠信号失效等问题，可以假设在某一个谱域中进行处理这样对各个信号的处理则不存在混叠的问题。

基于广义谱维纳滤波进行目标信号的分离处理。在处理中如果假设在循环频域中部出现信号混叠的问题，通过数字通信信号的方式进行处理，则可以构建一个信号循环平稳特性，通过线性共轭-线性频移滤波器进行处理，则可以进行多个时频中混叠数字通信信号的目标信号的分离处理，在应用中则可以有效降低干扰性的影响。

2. 基于信号子空间投影算法

对现有的数学变换、基底学习构建子空间的基底集，通过混叠技术则可以有效满足波形分离的需求。为了解决抗同信道干扰等相关隐患，通过目标信号符号速率进行分析，可以确定小波基底，并且根据需求构建目标信号零空间，达到投影混叠信号的目的，最后通过函数验证信号对其进行估计。在基于结果抵消混叠观测的信息，实现目标信号波形分离。此种方式主要是基于目标信号作为基带信号，同时其产生的速率差异较小，适应性不强^[5]。

对于雷达信号处理中存在的非平稳信号产生的分离等相关问题，可以通过压缩感知的单信号方式进行分离处理，通过短时傅里叶变换进行混叠观测投影，通过目标信号以及干扰信号进行分析则可以移除产生的抗干扰信号能量，基于压缩感知以及目标信号波形对其进行分离处理。在处理中因为目标信号以及干扰信号具有正交性的特征，因此无法在严重的时频混叠数字通信信号中应用。

总的来说，此种方式效果显著，但是在多种因素的影响之下还是存在的问题。在处理中现有的算法对于目标信号处理中对于先验信息具有一定的依赖性。在应用中如果无法满足先验信

息，则会限制算法的应用效果。同时现有算法基于字典学习构建处理复杂程度高，必须进行基底集构建方式的研究以及分析。现有算法无法充分凸显目标信号特性的价值与作用，在单信号波形分离中要基于实际需求对信号分离算法进行研究。

（三）SCBSS与人工智能技术的融合

通过离线训练的方式进行模型优化，可以有效替代传统的在线训练模式，在处理中主要就是通过网络的方式进行处理，网络输入数据可以获得波形数据信息，也可以通过处理之后获得相关信号的特征序列参数。基于数据驱动的 BSS 主要包括基于数据驱动以及基于模型以及数据驱动结合的 BSS^[9]。

1. 基于 SCBSS 融合数据驱动

数据驱动 SCBSS 的融合就是在特定的时域、频域中进行混叠信号处理，实现信号端到端的分离。在分离之后产生的信号可以为波形以及可以为解调之后的符号序列。通过此种方式可以实现自适应学习，达到提高分离效果的目的。基于数据驱动进行 SCBSS 处理，利用编码器分离架构进行处理，在处理中通过深层网络建模高位进行各信号的处理，实现高纬度空间分离处理，在利用解码器处理为时域，实现端到端的多波形结构分离^[7]。

2. 模型驱动和数据驱动相结合的 SCBSS

相对传统算法来说，可以基于模型驱动以及数据驱动结合进行 SCBSS 的处理，通过模型矩阵求逆以及参数优化等方式进行计算处理，在数据驱动层面中进行处理，在数据驱动的支持之下提高计算效率，则可以有效降低复杂程度，实现模型的简化处理。

基于 BP 神经网络 PCMA 实现分离模型的构建，可以通过预处理的方式进行优化，在神经网络的支持之下进行梯度算法训练，联合分离以及最优路径则可以进行信号分离，相对传统方式来说操作简单。

（四）方法优化

SCBSS 与大数据、智能技术的融合可以有效提高计算效率，降低难度，增强了信号恢复性能，但是深度学习算法受到自身性能的影响导致其可解释性不高，充分发挥木材信号的特征，在应用中容易出现过度拟合等问题。对此要对其优化完善^[8]。

深度学习基于传统模型 SCBSS，通过深度学习进行数据处理，替代人工处理方式，则可以提高整体性能。通过浅层的网络结构进行数学技术，增强可解释性。深度学习与人工知识库的融合，通过专家系统进行冗余信息的处理，实现对信号的剥离，通过添加知识规则的方式进行约束管理，则可以进行信号的解析与

处理。深度学习联合信号特性，构建数学建模逻辑，将周期性、独立性等作为神经网络设计的参考，构建计算逻辑，则可以为网络学习提供支持。

三、单通道通信信号盲分离方法发展趋势

随着人工智能、大数据以及多种自动化技术手段的日益成熟，在单通道通信信号盲分离领域中也融合了多种现代化智能技术以及手段，其今后的发展趋势呈现数字化、智能化的特征。

（一）智能化 SCBSS 模型

智能学习与 SCBSS 的融合，可以有效优化处理流程，实现 SCBSS 模型的自动化以及智能化发展，增强分离方式的适应能力。通过多种方式进行建模处理，分析电磁信号的数字通信信号以及基础的特性信息，充分释放整体性能^[9]。

（二）综合利用模型方式

对于 SCBSS 的不同模型，如果应用单一的方式在范围以及表征能力上还是受到一定的限制，而在不同的模型上其侧重点也是不同的。通过多种模型的联合应用则可以基于不同的角度进行相关目标信号特性的处理，提供的信息数据更加全面有效。基于 SCBSS 模型，进行目标信号的特性处理，可以避免冗余以及缺漏等问题的出现。

（三）模型适应性以及扩展性能

多数模型在应用中的信号类型有限，应用范围以及条件也不明确。在出现新的信号类型的时候，要通过专家知识进行筛选处理，而电磁环境复杂，为了有效的满足 SCBSS 的双休，则要增加模型的适应性能，在大数据以及智能化技术手段的支持之下进行模型的性能扩展以及优化。通过人工智能、专家知识库，基于数据驱动技术等多种方式进行学习拓展，构建精细化、智能化以及层次化的 SCBSS 模型，才可以切实满足实际的应用需求^[10]。

四、结束语

在计算机技术、神经网络以及数据处理等技术手段的支持之下，通过深度学习等方式进行语音信号信息数据的处理，通过基于数据驱动的方式进行信号处理，通过信号、调制识别以及信号估计等方式进行综合分析，可以通过深度神经等方式进行数据非线性的模拟，达到优化结果的目的。

参考文献

[1] 胡泽峰. 单通道全双工光通信系统及关键器件研究 [D]. 南京邮电大学, 2023.
[2] 赵文胜. 通信信号的单通道盲源分离技术研究 [D]. 西安电子科技大学, 2023.
[3] 李红丽. 基于深度学习的通信信号盲源分离研究 [D]. 电子科技大学, 2023.
[4] 雷存平. 单通道非对称混合通信信号分离与参数估计 [D]. 电子科技大学, 2023.
[5] 袁佳. 基于循环神经网络波分复用光纤通信系统中 XPM 效应均衡 [D]. 北京邮电大学, 2022.
[6] 李懿, 崔芳芳, 段振兴, 等. 电网通信工程单通道改造的分析与实践 [J]. 东北电力技术, 2022, 43(01): 28-33+40.
[7] 何继爱, 陈兴. 通信信号参数估计技术及其发展 [J]. 测控技术, 2017, 36(03): 6-10.
[8] 邓文, 黄知涛, 王翔. 单通道通信信号盲分离方法的研究进展综述 [J]. 通信学报, 2023, 44(08): 179-194.
[9] 周雨菲. 通信信号单通道盲源分离算法的研究 [D]. 西安电子科技大学, 2022.
[10] 蔡昕. 单通道时频混叠数字通信信号盲分离方法研究 [D]. 国防科技大学, 2021.