

1-8-2019

Modeling and Realization of Acoustic Signal Separation Simulation System Based on SystemVue

Xiaorong Tong

School of Network security and Informatization, Weinan Normal University, Weinan 714099, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling and Realization of Acoustic Signal Separation Simulation System Based on SystemVue

Abstract

Abstract: Aiming at the practical requirements of blind separation process of acoustic signals, a modeling method of acoustic signals separation simulation system based on SystemVue simulation platform is proposed according to specific mode of signal separation and acoustic sensor network layout in the practical work. It provides a novel signal separation algorithm based on signal single source detection which is the improvement of FastICA algorithm. It also can obtain the source acoustic signals without the information of signal source numbers. The SystemVue software is used to model the net of acoustic sensors, and the target simulation information is generated at the same time. In the simulation, the comparison between proposed signal separation algorithm and traditional algorithms is to prove the feasibility and superiority of the proposed algorithm. It is approved that the modeling scheme is correct and realizable by the simulation experiment.

Keywords

sound signal, time-frequency dominant area, blind separation, simulation system, SystemVue

Recommended Citation

Tong Xiaorong. Modeling and Realization of Acoustic Signal Separation Simulation System Based on SystemVue[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(8): 3179-3187.

基于 SystemVue 的声信号分离仿真系统的建模与实现

同晓荣

(渭南师范学院 网络安全与信息化学院, 陕西 渭南 714099)

摘要: 针对现代声信号分离过程中的实际需求, 按照信号分离的具体模式以及声传感器在实际工作中的网络布局, 提出一种基于 SystemVue 仿真平台下的声信号分离仿真系统的建模方法, 在 FastICA 算法的基础上进行改进, 提出一种基于时频单源主导区域检测的信号分离算法, 使得在未知声信号源数目的条件下得到源信号波形的准确估计, 为声传感器的信号提取与处理提供新思路。利用 SystemVue 仿真软件对声传感器网络进行建模, 同时形成目标的模拟信息, 对信号的传播环境进行详细分析。在仿真过程中, 将基于时频单源主导区域检测的信号分离算法与传统的盲信号分离算法进行对比以验证其可行性和优越性, 仿真系统对信号分离速度以及信噪比两方面进行测试, 结果表明该建模方案的正确性以及信号分离算法的优越性。

关键词: 声信号; 时频单源主导区域; 盲分离; 仿真系统; SystemVue

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 08-3179-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201808044

Modeling and Realization of Acoustic Signal Separation Simulation System Based on SystemVue

Tong Xiaorong

(School of Network security and Informatization, Weinan Normal University, Weinan 714099, China)

Abstract: Aiming at the practical requirements of blind separation process of acoustic signals, a modeling method of acoustic signals separation simulation system based on SystemVue simulation platform is proposed according to specific mode of signal separation and acoustic sensor network layout in the practical work. It provides a novel signal separation algorithm based on signal single source detection which is the improvement of FastICA algorithm. It also can obtain the source acoustic signals without the information of signal source numbers. The SystemVue software is used to model the net of acoustic sensors, and the target simulation information is generated at the same time. In the simulation, the comparison between proposed signal separation algorithm and traditional algorithms is to prove the feasibility and superiority of the proposed algorithm. It is approved that the modeling scheme is correct and realizable by the simulation experiment.

Keywords: sound signal; time-frequency dominant area; blind separation; simulation system; SystemVue

引言

随着现代声传感器技术的飞速发展, 对于传



收稿日期: 2016-11-03 修回日期: 2017-02-20;
基金项目: 渭南市科研发展计划 (2015KYJ-2-6), 渭南师范学院理工类科研(16YKS010), 陕西省 2017 年军民融合研究基金(17JMR26);
作者简介: 同晓荣(1972-), 男, 陕西白水, 副教授, 研究方向为嵌入式系统、信号处理和计算机应用技术。

感器中所截获的信息进行处理成为了信号与信息处理领域的重点和难点^[1]。又由于盲信号处理技术的日益成熟, 使得该技术在国内得到极大的关注, 应用领域也十分广泛, 例如雷达信号盲分离^[2-4]、通信信号分离^[5-6]、生物信号分离(如 EEG、ECG、MEG 和 fMRI)以及声信号分离^[7-9]等方面。现阶段, 声信号分离的研究成果多集中于信号分离算法的

<http://www.china-simulation.com>

• 3179 •

优化设计以及算法改进等方面,成体系、系统的声传感器网络成果甚少,且在对声信号分离问题进行研究时,声传感器布局困难、信号采集繁琐、实验中所消耗的人力物力较大,基于此,本文依托 SystemVue 仿真平台,对声信号分离的仿真系统建模方法、工作原理以及实际应用进行详细分析,为深入研究信号处理算法、不同信息处理方法的对比提供仿真平台;解决了实际研究过程中传感器布局困难的问题,通过仿真,声传感器布局网络有了理论依据,降低了实验成本,提高了研究效率; SystemVue 软件具有强大的扩展功能,能够根据不同的数量的传感器网络进行调整,以满足不同任务的需求。该仿真系统的建立具有一定的实际应用以及推广的价值。

对于仿真系统而言,主要可分为功能级仿真和信号级仿真两类,功能级仿真主要是模拟声传感器网络截获的声音信号参数数据,并利用描述字进行表述,最终能够完成信号分离过程;信号级仿真则还需考虑所截获信号的相位、脉冲波纹等细节信息;本文提出的仿真系统建模方法,是一种信号级的声信号仿真系统。仿真系统包括声传感器网络子系统(信号源)、信号传输环境子系统以及信号处理子系统,需要说明的是,文中建立的仿真系统不考虑传感器对于信号的截获,即认为所有的仿真都是在信号已经截获的条件下进行的。本次的仿真系统是基于 SystemVue 软件仿真平台而建立的,主要研

究内容为:(1) 声信号盲分离系统建模,包括声传感器网络的建模以及信号处理子系统内部仿真单元的建模;(2) 以及仿真实现。

1 声信号盲分离系统建模

本文建立的仿真系统包括传感器网络单元、信号环境单元以及信号接收处理单元,接下来就针对上述三个仿真单元的建模方法进行详细阐述。包括各个单元的模块组成、数学原理、数据形式及数据类型。

1.1 声传感器网络仿真单元

声传感器网络仿真单元作为整个仿真系统的信号源,需要具备截获信号的能力,并且每一传感器应包括其位置、速度、加速度、航迹等信息,需要说明的是:产生速度以及加速度信息是由于传感器所搭载的平台不同。根据仿真的初始想定,声传感器的平台包括在地面(静止),机载、车载(运动)等,根据不同载体的航迹信息(静止的传感器无航迹信息)建立相应的仿真模型。同样,信号接收与处理平台的位置信息按照该建模方法建立。运动平台上传感器的航迹表示为 $trace(x, y, z, v, a, t)$ ^[10]。其中, x, y, z 为信号接收与处理平台的坐标; v 为运动平台 t 时刻的速度; a 为运动平台 t 时刻的加速度。建立的声传感器模块(网络中其余传感器的建模按照此建模方法进行建立),如图 1 所示。

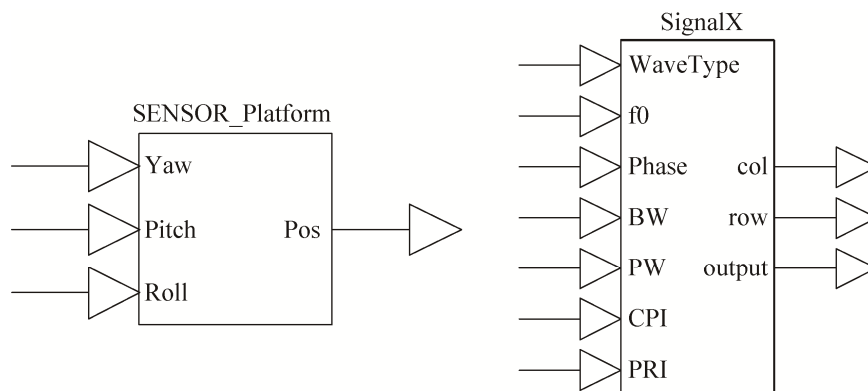


图 1 声传感器平台建模

Fig. 1 Acoustic sensors platform modeling

图1所示的是声传感器、信号产生模块,输入为平台的横滚角(Roll)、俯仰角(Pitch)和航向角(Yaw),用于描述载体平台的自身角度,是运动平台运行的关键参数之一^[11]。对于静止与地面的声传感器而言,这三个输入为零。传感器平台(SENSOR Platform)模块的输出为该平台的坐标信息;信号产生模块(SignalX)为声信号传感器所截获的空域声信号,其输入包括信号的波形类型、载频、相位、带宽、脉宽、CPI以及脉冲重复周期。利用信号的这些特征信息,就能够构造出复合仿真想定要求的信号数据。上述传感器模块及信号产生模块的具体参数如表1、2所示。

从表1、2中可以看出,传感器模块的航迹信息(Trajectory_Mode)参量的初始值为零,即无运动信息。针对静止的传感器,该参数为初始设置;而对于运动平台传感器的建模,航迹模式是通过调取文件读取预知航迹信息形成的。传感器位置信息(Position_Initial)是通过经度、纬度和高度规定的,平台的坐标是根据仿真前的想定决定的。

在信号产生单元(SignalX),也可与实际的信号采集硬件进行连结,利用实际的采集信号作为输

入,这样得到的源信号更加真实。

1.2 信号传播环境建模

信号在传播过程中,会受到干扰、噪声等影响,为模拟信号的传播过程受到的干扰等因素,建立一套杂波干扰信号的产生单元是必要的。环境仿真单元负责产生传感器截获信号传播过程中的干扰信号,是整个仿真系统建模的关键。信号环境的建模包括预设信号产生模块、滤波器、混频器、放大器等相关模块,最终实现杂波以及干扰信号。模块设置如图2所示。

如图2所示,信号传播环境仿真建模中包括了混频器、晶振、滤波器、放大器。初始的干扰信号以及噪声并将信号加上载频;经过两次上混频,使得信号频率升高,达到频率要求;两个放大器分别为中频、高频低噪声放大器,用于提高信号的发射功率;由此产生的射频信号即可达到想定要求。初始信号产生模块可以根据想定中不同的干扰信号形式。而在环境的建模过程中,滤波器的滤波范围是根据不同信号设定的,滤波器的参数设计如表3所示。

表1 传感器平台模块参数

Tab. 1 Parameters of acoustic sensors platform

名称	描述	初始值	单位
Trajectory_Mode	平台的航迹模式包括自动产生以及用户定义(通过 FileName 调取文件读取航迹)	无航迹	
Position_Initial	坐标信息包括精度、纬度和高度	[0, 0, 0]	deg、m
Velocity_Initial	平台速度信息	0	m/s
Accelerate_Initial	平台加速度信息	0	m ² /s
FileName	文件名(用户定义的航迹文件)	0	
TimeStep	仿真时间间隔	10e-9	s

表2 目标平台模块参数

Tab. 2 Parameters of targets platform

名称	描述	数据类型	单位
PRI	脉冲间隔	Real	Hz
CPI	重复周期内的脉冲串数	Int	1
PW	脉宽	Real	Hz
BW	带宽	Real	Hz
Phase	初始相位	Real	rad
f0	信号载频	Real	Hz
WaveType	波形类型	Int	

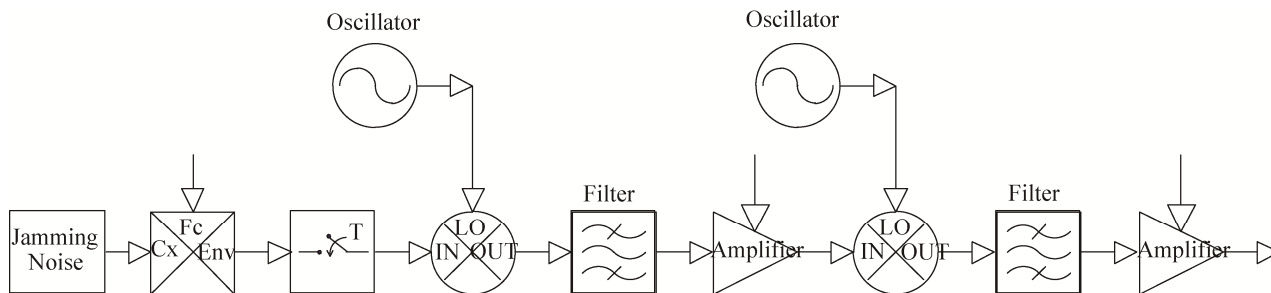


图2 信号传播环境建模

Fig. 2 Modeling of signal transformation environment

表3 滤波器参数
Tab. 3 Filters parameters

名称	描述	初始值	单位
FCenter	滤波器中心频率	150e3	Hz
PassBandwidth	允许通过的带宽	50e3	Hz
StopBandwidth	不允许通过的带宽	100e3	Hz
OrderType	滤波器形状	10e6	Hz
PassAtten	允许通过的边界幅值	3	
StopAtten	不允许通过的边界幅值	50	

滤波器包括低通、高通、带通和带阻滤波器，而且滤波器的形状包括 IIR 和 FIR 两种，其中对于 IIR 滤波器的设计包括“Bessel”、“Butterworth”、“Chebyshev I”、“Chebyshev II”、“Elliptic”和“Synchronously Tuned”六种；对于 FIR 滤波器的设计包括“Parks-McClellan”、“Gaussian”、“Raised Cosine”和“Window”四种。对于这些滤波器的具体样式就不一一介绍了。在仿真过程中，滤波器为巴特沃斯带通滤波器，改变滤波器参数形成不同中心频率的滤波器应用于环境信号产生单元当中。

1.3 信号接收处理模块建模

信号接受处理模块的重点在于信号分离算法，在 SystemVue 软件中利用“Mathlang”模块进行实现，在此即不再赘述建模过程，主要对基于时频单源主导区域的信号分离算法进行分析。设源信号的数量为 P ，信号接收天线为 M 元均匀阵列，则在接收天线端，被截获的信号可以表示为：

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (1)$$

式中： $\mathbf{x}(t) = [\mathbf{x}_1(t), \mathbf{x}_2(t), \dots, \mathbf{x}_M(t)]^T$ 为观测信号；

$\mathbf{s}(t) = [\mathbf{s}_1(t), \mathbf{s}_2(t), \dots, \mathbf{s}_P(t)]^T$ 为源信号；

$\mathbf{n}(t) = [\mathbf{n}_1(t), \mathbf{n}_2(t), \dots, \mathbf{n}_M(t)]^T$ 为噪声。 \mathbf{A} 为混合矩阵，用于表征信号在空域中未知的混叠方式，具体表示为： $\mathbf{A} = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_P]^T$ ，其中 $\mathbf{a}_i, i \in (1, p)$ 为列向量，在此对混合矩阵 \mathbf{A} 做出约束。

(1) 混合矩阵 \mathbf{A} 中，各个列矢量之间不能存在倍数关系，即混合矩阵列满秩。若混合矩阵中 $\mathbf{a}_i = k\mathbf{a}_j$ ，且 $i, j \in N, i \neq j$ ，就会导致源信号中的 $\mathbf{s}_i(t), \mathbf{s}_j(t)$ 分量无法分离。

(2) 在不失通用性的前提下，利用混合矩阵的不确定性，将混合矩阵中各列矢量单位化，即 $\|\mathbf{a}_i\| = 1, i \in 1, \dots, N$ 。

时频分析为解决非平稳信号处理问题提供了一个很好的平台。时频分析是时域分析和频域分析的延伸，它将被处理信号的能量分布在时域和频域上，称为该信号的时频分布图(Time-Frequency Distribution, TFD)。利用短时傅里叶变换(Short Time Fourier Transformation, STFT)将信号转换至时频域进行分析^[7]。对式(1)两边进行短时傅里叶变换，得：

$$\mathbf{X}(t, f) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{S}(t, f) + \mathbf{N}(t, f) \quad (2)$$

式中： $\mathbf{X}(t, f)$ 、 $\mathbf{S}(t, f)$ 、 $\mathbf{N}(t, f)$ 分别是观测矩阵、源信号矩阵以及噪声矩阵的短时傅里叶变换的结果。考虑噪声后，对于整个时频域上的所有点只对超过噪声能量分布的点进行分析，并称该点为信号主导点，并推导出信号主导点判据。

信号主导点判据：当时频域上存在一点 (t, f) ，在时频域上存在许多这样的点，把这些点组成的区域称为信号主导区域，表征在该点或该区域处信号能量较之噪声能量占主导地位^[12]。这些点组成的

集合为:

$$\left\{ (t, f) \mid \sum_{i=1}^M \mathbf{x}_i^2(t, f) > \xi \right\} \quad (3)$$

信号的主导点反映出该点处信号能量在信号时频分布中占主导地位, 每一信号主导点处的信号能量是由不同源信号能量加权叠加而成的^[13]。在同一主导点的不同源信号对于该处能量的贡献大小不同, 若在该点处的某一源信号能量对于该处总能量的贡献远远超过了其他源信号的贡献时, 则称为该点为贡献最大的源信号的时频单源主导点, 同时在信号分离的过程中也认为该主导点处的源信号唯一。

时频单源主导区域判据: 时频域上的信号主导点组成的区域被称为该信号的时频单源主导区域, 在该区域内任意一点 (t, f) , 都可以得到 $\mathbf{S}_i(t, f) \gg \mathbf{S}_k(t, f) \quad i \neq k$, 即认为在点 (t, f) 处源信号 $\mathbf{S}_i(t, f)$ 的能量贡献最大, 认为该点处的能量只由源信号 $\mathbf{S}_i(t, f)$ 唯一决定^[14]。

从上述判据中可以得到以下结论: 在混合信号中每一个源信号分量在时频域上都存在着许多离散的信号主导点和主导区域^[15], 为下一步的算法实现提供支持。

设时频域上任意一点处的能量幅度由 k 个源信号能量共同决定的, 具体的数学表达式可以表示为:

$$\mathbf{X}(t, f) = (\alpha_1 \mathbf{S}_1(t, f), \alpha_2 \mathbf{S}_2(t, f), \dots, \alpha_k \mathbf{S}_k(t, f))^T + \mathbf{N}_k(t, f) \quad (4)$$

式中: α_i 为在 (t, f) 点处的各个源信号混合矩阵的第 i 行向量; $\mathbf{N}_k(t, f)$ 为噪声在是时频域上的分布函数。当源信号 $\mathbf{s}_k(t)$ 的信号主导点集合为 $\Psi(t_{k_i}, f_{k_i})$ 。则任意一点 (t_{k_c}, f_{k_c}) 的观测信号可表示为^[16]:

$$\mathbf{X}(t, f) = \alpha_k \mathbf{S}_k(t, f) + \mathbf{N}_k(t, f) \quad (5)$$

对于其他信号包括噪声在该点处的能量幅度很小, 推导过程中忽略不计。则式(5)可以简写为:

$$\mathbf{X}(t, f) = \alpha_k \mathbf{S}_k(t, f) \quad (6)$$

式中: α_k 为在 (t_{k_c}, f_{k_c}) 点处的源信号 $\mathbf{S}_k(t, f)$ 对应混合矩阵的第 k 行向量, 记作:

$$\alpha_k = [\alpha_{k1}, \alpha_{k2}, \dots, \alpha_{kM}]^T \quad (7)$$

式中: α_k 为 $1 \times M$ 维向量。将式(6)展开, 得:

$$\mathbf{X}(t, f) = [\alpha_{k1}, \alpha_{k2}, \dots, \alpha_{kM}]^T \cdot [\mathbf{S}_1(t, f), \mathbf{S}_2(t, f), \dots, \mathbf{S}_M(t, f)] \quad (8)$$

则接收天线阵元接的观测信号的时频比, 得:

$$\omega = \left[\frac{\mathbf{X}_1(t, f)}{\mathbf{X}_m(t, f)}, \dots, 1, \frac{\mathbf{X}_{m+1}(t, f)}{\mathbf{X}_m(t, f)}, \dots, \frac{\mathbf{X}_M(t, f)}{\mathbf{X}_m(t, f)} \right] \quad (9)$$

式中: ω 表示时频比。将式(8)带入式(9), 得:

$$\omega = \left[\frac{\alpha_{k1} \mathbf{S}_1(t, f)}{\alpha_{km} \mathbf{S}_m(t, f)}, \dots, 1, \frac{\alpha_{k(m+1)} \mathbf{S}_{m+1}(t, f)}{\alpha_{km} \mathbf{S}_m(t, f)}, \dots, \frac{\alpha_{kM} \mathbf{S}_M(t, f)}{\alpha_{km} \mathbf{S}_m(t, f)} \right] \quad (10)$$

式(10)可以近似的写为:

$$\omega = \left[\frac{\alpha_{k1}}{\alpha_{km}}, \dots, 1, \frac{\alpha_{k(m+1)}}{\alpha_{km}}, \dots, \frac{\alpha_{kM}}{\alpha_{km}} \right] = \frac{1}{\alpha_{km}} \alpha_k \quad (11)$$

只需在时频平面遍历搜索到信号 $\mathbf{s}_k(t)$ 全部的信号主导点, 按照上述方法, 就能够对信号 $\mathbf{s}_k(t)$ 所对应的混合矢量进行估计^[17]。对应的混合矢量可以写成:

$$\hat{\alpha}_k = \left[\frac{1}{L_k} \sum_{i=1}^{L_k} \frac{x_1(t_{k_i}, f_{k_i})}{x_m(t_{k_i}, f_{k_i})}, \dots, \frac{1}{L_k} \sum_{i=1}^{L_k} \frac{x_M(t_{k_i}, f_{k_i})}{x_m(t_{k_i}, f_{k_i})} \right] \quad (12)$$

式中: L_k 为信号时频单源主导点的个数, 可以通过主导点判决门限进行判定并求出, 在时频单源主导区域中进行搜索。如果考虑噪声的影响, 时频比矩阵就不再为实矩阵, 由噪声的时频分量构成复数的虚部, 求取矩阵的方法就必须利用聚类特性统计求出^[17], 则按照式(12)中, $\hat{\alpha}_k$ 的估计可表示为:

$$\hat{\alpha}_k = \left[\frac{1}{L_k} \sum_{i=1}^{L_k} \tilde{\omega}_i(:, 1), \dots, \frac{1}{L_k} \sum_{i=1}^{L_k} \tilde{\omega}_i(:, M) \right] \quad (13)$$

式中: “:” 表示取矩阵的整行。求取该时频单源点集合的混合信号矩阵自相关矩阵 $\tilde{\mathbf{R}}_i = E\{\mathbf{x}\mathbf{x}^H\}$, 并将求得的自相关矩阵特征值分解, 得:

$$\tilde{\mathbf{R}}_i = \mathbf{U}\mathbf{S}\mathbf{U}^H \quad (14)$$

式中: \mathbf{S} 为特征值矩阵, 其中较大的特征值为混合信号中目标源信号的特征值, 而较小的则是噪声特征值。其对应的特征向量即为该特征值下的混合估计矢量, 即:

$$\hat{\alpha}_k = \mathbf{u}_{\mathbf{S}\max} \quad (15)$$

式中: $\mathbf{u}_{\mathbf{S}\max}$ 表示 \mathbf{S} 中较大的特征值对应的特征向

量。该算法的具体步骤如表4所示。

表4 基于时频单源主导区域检测的信号分离算法步骤
Tab. 4 Algorithm steps of time-frequency dominant area detection

序号	具体步骤
1	对混合信号进行短时傅里叶变换,将时域信号转移至时频域上
2	按照时频单源主导区域的判据,在观测信号的时频域上搜索全部源信号的信号主导点
3	按照式(9)~(11)求出时频比,利用式(13)对混合矢量进行估计
4	利用统计特性完成时频平面中所有主导点的检测,估计混合矩阵
5	利用观测信号和估计出的混合矩阵,并利用式(14)~(15)求出解混矩阵,最终得到源信号估计

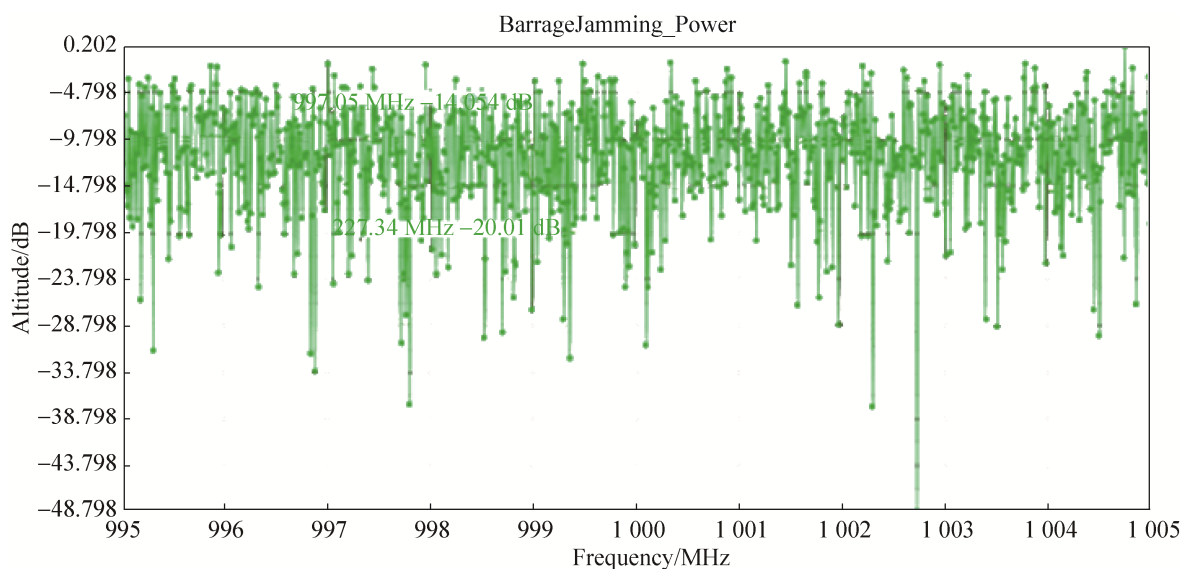
2 仿真实验

2.1 干扰信号以及噪声的仿真

首先对信号传播环境仿真单元进行仿真,主要模拟了压制干扰、瞄准式干扰、多点干扰、欺骗干扰和扫频点干扰。利用 SystemVue 软件中的“Radar Parts”目录下的“Environment”子目录中的“RADAR_ClutterGen”模块以及“EW Jamming”模块进行联合仿真,针对不同的干扰信号,建立了数学相应的参数设置。这些参数包括:干扰种类(JammingType),覆盖干扰模式(CoverJammingType),

载频(RF_Freq),采样率(Sampling Rate),脉冲重复频率(PRF),概率密度函数(PDF),均方误差(Variance),比例系数(SizeFactor),尖端系数(SharpFactor),阶数(Order),功率谱密度(PSD),多普勒频率(Fd),截止频率(FreqCutoff),滤波器长度(FilterLen)。不同类型的干扰主要通过“JammingType”参数进行调整,其包括了压制干扰(Cover Jamming)、欺骗式干扰(Deceptive Jamming);在覆盖干扰模式参数中可选择点干扰(Spot Jamming)、多点干扰(Multi Spot Jamming)、扫频干扰(Sweep Spot Jamming);通过调整 PDF 能改变不同干扰的分布特性,在 PDF 参数中包括了 Rayleigh、LogNormal、Weibull、K 分布。针对上述干扰情况进行仿真分析。

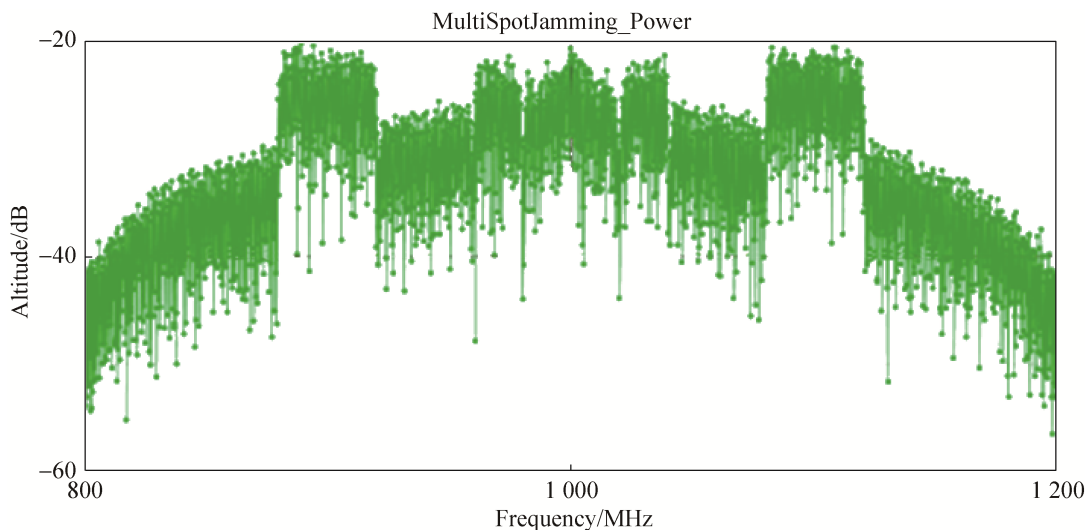
图3中对四种形式的干扰进行了仿真。干扰对准的频率为1000 MHz,源信号为线性调频信号。针对不同的干扰形式,相对应的参数也需要做相应调节^[18]。实现方法也有所不同,干扰都是利用高斯白噪声实现的,只是在产生噪声的频段有所区别。例如:压制干扰属于全频段干扰,所以高斯白噪声覆盖全频段;对于瞄准式以及其他形式干扰,噪声只是覆盖感兴趣的频点或频段处。



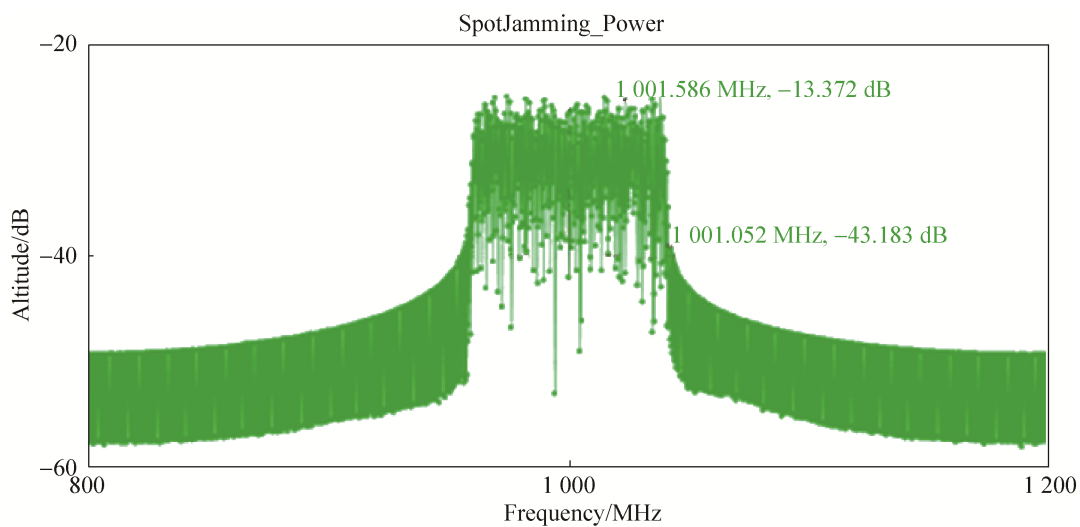
(a) 压制干扰(Barrage jamming)

<http://www.china-simulation.com>

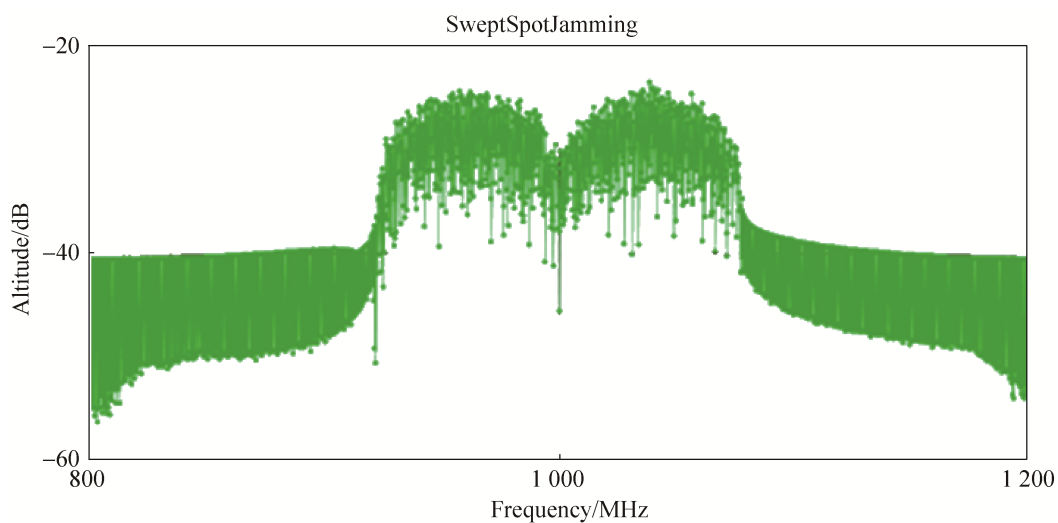
• 3184 •



(b) 多点干扰(Multi-spot jamming)



(c) 瞄准式干扰(Spot jamming)



(d) 扫频点干扰(Swept spot jamming)

图 3 信号环境中不同干扰频谱
Fig. 3 Signal interference spectrum of different environments

<http://www.china-simulation.com>

2.2 信号分离算法验证

本次仿真设置4个源信号以及3个接收天线，构成欠定条件，源信号均为采集的声信号，信号在时频平面上相互交叠，构成信号的时频条件，信噪比为10 dB。

实验一：不同信噪比下的分离效果。

定义矩阵估计误差 E_A ，即：

$$E_A = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \|A - \hat{A}\|_F \right) \quad (16)$$

式中： \hat{A} 为估计矩阵， $\|\cdot\|_F$ 为F范数。实验中利用矩阵估计误差 E_A 来衡量该方法的分离效果。通过改变实验中信噪比值，在不同的信噪比条件下利用本文提出的方法进行相同的分离实验。本实验中，信噪比由-10 dB 增至 40 dB，步进为 5 dB 进行实验，结果如图4所示。

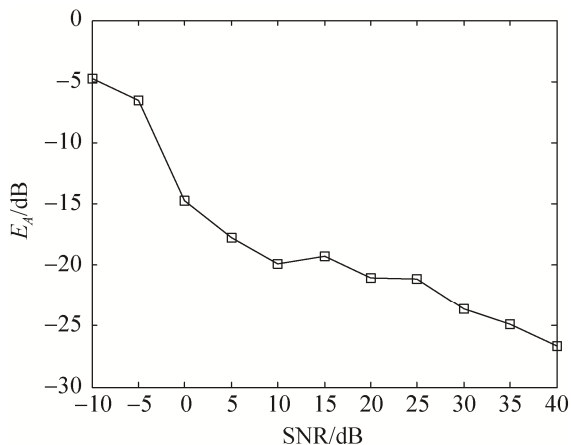


图4 信噪比对估计性能的影响

Fig. 4 Estimation performance based on different SNRs

由图4可以看出，在整个信噪比范围中， E_A 值始终处于负值，说明该方法对于低信噪比条件下的信号分离也有着较理想的分离效果。

实验二：与TIFROM方法和K均值聚类对比。

将本文方法与TIFROM算法以及利用传统K均值的聚类的方法进行对比。在信噪比连续变化的条件下，对比各个方法之间的矩阵估计误差，从而衡量各方法之间的优劣。本实验中，信噪比从-20 dB 增至 20 dB，步进为 2 dB。每一信噪比值下进行100次蒙特卡洛分析，最终得到对比结果如图5所示。

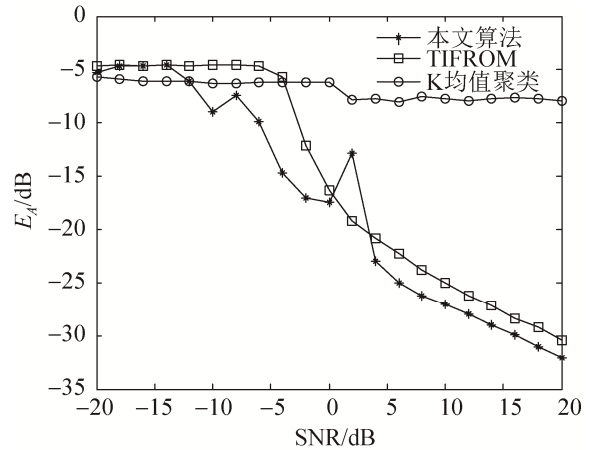


图5 TIFROM、k均值聚类及本文算法性能比较

Fig. 5 Performance comparison between TIFROM algorithm and K means algorithm

由图5可以看出，本文提出的算法矩阵估计误差收敛速度较快，即本文提出的算法适用性更强。与传统的TIFROM和K均值聚类算法^[19]相比，本文提出的基于时频单源主导区域检测的信号分离算法收敛速度更快，估计误差更低。

实验三：与FastICA分离算法速度对比。

将本文提出的基于时频单源主导区域检测的信号分离算法与传统的FastICA算法^[20]的信号分离速度进行比较，在不同的信噪比条件下进行实验，最终的实验结果如表5所示。

表5 本文算法与FastICA算法运行耗时比较结果
Tab. 5 Time consuming between FastICA algorithm and proposed algorithm

信噪比/dB	算法耗时/s	
	本文算法	FastICA
0	83.217 3	136.701 2
5	67.946 5	127.987 4
10	56.156 2	128.172 9
15	58.470 1	128.128 3
20	55.165 3	112.487 9

表5所示的为本文算法与FastICA算法对于信号分离的实验耗时。仿真实验在信噪比较高的环境下进行的，从结果来看，基于时频单源主导区域检测的信号分离算法能够将信号分离的速度提高大约30%，在信号分离仿真过程中具有一定的应用价值。

3 结论

本文的主要成果是提出了一种基于 SystemVue 软件实现声信号分离仿真系统的建模方法。仿真系统中设置了声传感器网络子系统、信号传播环境子系统以及信号接收处理子系统的建模方法,并针对每一子系统的建模特点进行了详细的阐述。同时,利用 SystemVue 软件仿真平台,按照本文所提出的建模方法,在软件中实现了仿真想定中的声信号分离仿真系统,并利用该系统进行了一系列的信号处理算法的仿真。对最终得到的仿真结果进行分析,说明了该建模方法的可行性;同时将本文提出的基于时频单源主导区域检测的信号分离算法与传统的信号分离算法进行对比,证明其优越性。SystemVue 软件平台能够将信号数据形成数据文档,供其他仿真软件使用。该建模方法的提出以及实现为解决声信号分离算法对比、声传感器网络优化提供一种新思路,具有一定的实际应用价值。

参考文献:

- [1] 刘利民, 程呈, 韩壮志. 雷达告警接收机模拟系统设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(4): 859-866.
Liu Limin, Cheng Cheng, Han Zhuangzhi. Design and realization of radar warning receiver modeling system[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(4): 859-866.
- [2] 刘利民, 程呈, 韩壮志, 等. 实时机载雷达告警仿真系统设计与实现[J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38(4): 812-820.
Liu Limin, Cheng Cheng, Han Zhuangzhi, et al. Design and implementation of real-time simulation system for airborne radar warning[J]. Systems Engineering and Electronics, 2016, 38(4): 812-820.
- [3] 卢小勇, 闫抒升, 王晓军, 等. 基于 PDW 的雷达信号环境建模与仿真研究[J]. 航天电子对抗, 2014, 30(1): 58-61.
Lu Xiaoyong, Yan Shusheng, Wang Xiaojun, et al. Study on simulation and modeling about radar signal environment based on PDW[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2014, 30(1): 58-61.
- [4] 王海. 基于迭代方法的高逼真雷达信号环境仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(4): 897-901.
Wang Hai. Study on simulation of high fidelity radar signal environment based on iterative method[J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(4): 897-901.
- [5] Cheng Cheng, Limin Liu, Zhuangzhi Han. Time Frequency Single Source Point Detection Based Method for Radar Signal Sorting[J]. International Journal of Control and Automation (S2005-4297), 2015, 8(4): 413-420.
- [6] Cichocki A, Karhunen J, Kasprzak W, et al. Neural Networks for Blind Separation with Unknown Number of Sources[J]. Neurocomputing (S0925-2312), 1999, 24(1/2/3): 55-63.
- [7] Cichocki A, Thawonmas R, Amari S. Sequential Blind Signal Extraction in Order Specified by Stochastic Properties. Electron. Lett(S0013-5194), 1997, 33(1): 64-65.
- [8] 赵晶, 刘义, 来庆福, 等. 防空作战电磁环境建模与仿真[J]. 系统仿真学报. 2012, 24(2): 258-262.
Zhao Jing, Liu Yi, Lai Qingfu, et al. Modeling and simulation of battlefield electromagnetic environment in aerial defence warfare[J]. Journal of System Simulation. 2012, 24(2): 258-262.
- [9] 黄谟涛, 翟国君, 管铮, 等. 空间直角坐标和大地坐标的转换[J]. 解放军测绘学院院报, 1998, 15(3): 164-168.
Huang Motao, Zhai Guojun, Guan Zheng, et al. On the use of the transformation formulae between rectangular and geodetic coordinates[J]. Journal of the PLA Institute of Surveying and Mapping, 1998, 15(3): 164-168.
- [10] 刘琨, 杜利民, 王劲林. 基于时频域单源主导区的盲源欠定分离方法[J]. 中国科学 E 辑: 信息科学, 2008, 38(8): 1284-1301.
Liu Kun, Du Limin, Wang Jinlin. Underdetermined blind source separation method based on time frequency single source leading region[J]. SCIENCE CHINA, 2008, 38(8): 1284-1301.
- [11] Gilles C, Martin K, Eric M, et al. Joint Matrices Decompositions and Blind Source Separation[J]. Signal Processing Magazine IEEE (S1053-5888), 2014, 31(3): 34-43.
- [12] 王翔, 黄知涛, 任啸天, 等. 基于时频单源点检测和聚类验证技术的欠定混合盲辨识算法[J]. 国防科技大学学报, 2013, 35(2): 69-75.
Wang Xiang, Huang Zhitao, Ren Xiaotian, et al. Blind identification of underdetermined mixtures based on detection of time frequency single source point and cluster validation technique[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2013, 35(2): 69-75.
- [13] Richard E T, Maneesh S. Time-frequency Analysis as Probabilistic Inference[J]. IEEE Trans. on Signal Processing (S1053-587X), 2014, 62(23): 6171-6183.