

引用格式:王川川,许佳奇,王福志,等.源数估计对于独立分量分析算法的影响分析[J].电光与控制,2017,24(8):96-100. WANG C C, XU J Q, WANG F Z, et al. Influence of source number estimation on independent component analysis method[J]. Electronics Optics & Control, 2017, 24(8):96-100.

源数估计对于独立分量分析算法的影响分析

王川川, 许佳奇, 王福志, 曾勇虎

(电子信息系统复杂电磁环境效应国家重点实验室,河南 洛阳 471003)

摘要:研究了源数估计对于独立分量分析算法的影响。对于正定模型,当估计源数少于真实源数时,模型变为超定模型,采用自然梯度法开展仿真实验;当估计源数多于真实源数时,模型变为欠定模型,采用基于时频单源点检测的混合矩阵估计算法和子空间表示信号恢复算法开展仿真实验。实验结果表明,在满足一定信噪比的条件下,对于正定模型超定化问题,通常有数目等于估计源数的源信号能够成功分离;对于正定模型欠定化问题,通常所有源信号都能正确分离,只是分离信号中出现了1个或多个源信号的拷贝,可以通过检测分离信号的相关性,对拷贝信号进行剔除或合并,对分离效果无影响。研究结论对于独立分量分析算法的应用具有一定参考价值。

关键词: 信号处理; 独立分量分析; 源数估计; 自然梯度法; 单源点检测法; 子空间表示法

中图分类号: TN911 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2017.08.020

Influence of Source Number Estimation on Independent Component Analysis Method

WANG Chuan-chuan, XU Jia-qi, WANG Fu-zhi, ZENG Yong-hu

(State Key Laboratory of Complex Electromagnetic Environment Effects on Electronics and Information System, Luoyang 471003, China)

Abstract: The influence of source number estimation on application of Independent Component Analysis (ICA) methods is researched. For positive model of ICA, when the estimated source number is less than the actual source number, the positive model is changed to over-determined model, and natural gradient algorithm is implied for simulation experiment. To the case that the estimated source number is more than the actual source number, the positive model is changed to under-determined model, for which the hybrid matrix estimation algorithm based on single source detection is used for estimating the hybrid matrix, and subspace representation algorithm is employed for studying the influence on source separation. Experimental results show that, as to the problem of positive model changing to over-determined model, in the case of signal to noise ratio satisfying the requirements, the number of successfully separated source signals is usually equal to that of estimated source number. As to positive model changing to under-determined model, usually all of the source signals can be successfully separated, but there is one or more of the separated signals is the copy of the original source signal. In this case, the separated signals can be merged based on correlation analysis, and all of the original source signals can be separated successfully. The results supply a referenced for applying ICA methods.

Key words: signal processing; independent component analysis; source number estimation; natural gradient method; single source detection; subspace representation method

0 引言

盲源分离(Blind Source Separation, BSS)是信号处

理领域中一个崭新的研究方向,经过约20年的发展,盲源分离理论特别是线性瞬时混合盲源分离的理论体系发展已基本完善^[1]。盲源分离的线性瞬时混合模型是指传感器所接收到的信号为源信号在线性情况下的混叠,并且不考虑信号的延时。虽然线性瞬时混合模型是一种比较理想的数学模型,但对于现实应用,大部分情况下把问题近似转化成线性瞬时混合模型来进行处理就能够得到比较理想的结果。代表性的算法是独

收稿日期:2016-11-15

修回日期:2016-12-06

基金项目:国家自然科学基金(61372040);CEMEE国家重点实验室开放课题(CEMEE2015Z0302B)

作者简介:王川川(1985—),男,河南濮阳人,博士,助理研究员,研究方向为电子信息系统效能评估理论。

独立分量分析(Independent Component Analysis, ICA)^[1],即在统计独立性的假设下,由观测信号推断信源和信道的特性,最终分离出源信号。目前,ICA在特征提取、生物医学信号处理、通信系统、水声信号处理、图像处理、语音信号处理等领域获得了广泛的应用^[2-4]。

在ICA算法应用研究中,多数都假设源信号个数是已知的,且观测信号个数等于源信号个数。然而实际上,辐射源数目多数情况下未知,并且等于观测天线数目的情况极少。在应用ICA算法之前,必须事先进行源数的估计工作,而源数估计一直是盲源分离和空间谱估计领域的研究热点和难点,理论发展尚不完善,缺乏十分有效的估计办法^[5]。

针对上述情况,本文针对源数估计对ICA算法应用效果的影响开展了仿真研究,目的是探究在源数估计不准确的情况下,ICA算法的分离效果如何。

1 线性瞬时混叠盲源分离模型

设有 n 个辐射源信号,表示为 $\mathbf{s}(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t)]^T \in \mathbf{R}^{n \times T_0}$, T_0 为信号采样点数, n 个源信号在传播及被传感器接收过程中,势必会产生信号混叠,由天线阵列接收的 m 个观测信号表示为 $\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]^T \in \mathbf{R}^{m \times T_0}$,任何一个观测信号 $\mathbf{x}(t)$ 都是源信号 $\mathbf{s}(t)$ 的线性组合。线性瞬时混叠系统的数学模型为

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

式中, $\mathbf{n}(t)$ 为传感器叠加噪声。则分离方程为

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{W}_{n \times m} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{W}_{n \times n} \cdot \mathbf{n}(t) \quad (2)$$

式中, \mathbf{W} 称为分离矩阵。根据式(1)和式(2)可得

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{W}_{n \times m} \cdot \mathbf{x}(t) = \mathbf{W}_{n \times m} \cdot [\mathbf{A}_{m \times n} \cdot \mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t)] \quad (3)$$

式中, $\mathbf{y}(t)$ 为分离得到的源信号的估计值。根据式(3)可知,当估计的源数与真实的源数不一致时,分离矩阵 \mathbf{W} 的维数就与准确的分离矩阵维数有偏差,根据式(3)得到的分离信号 $\mathbf{y}(t)$ 与真实源信号 $\mathbf{s}(t)$ 的维数必不一致。

在ICA算法的应用中,要求 $m = n$,而当源数估计值 \hat{n} 小于真实源数 n 时,正定盲源分离问题变为超定问题,即观测信号个数多于源数,称为正定模型超定化;当源数估计值 \hat{n} 大于真实源数 n 时,盲源分离问题变为欠定问题,即观测信号个数少于源数,称为正定模型欠定化。下面对上述两种情况下源数估计对于ICA算法的影响进行仿真研究与分析。

2 源数估计对于正定模型超定化影响仿真实验

正定模型超定化是指在实际的源数 n 和观测信号

数 m 存在 $m = n$ 的关系的情况下,估计的源数 $\hat{n} < n = m$ 。本节采用自然梯度法^[6]对混叠噪声的观测信号进行分离处理,分析 $\hat{n} < n = m$ 对于ICA算法分离结果的影响。在仿真实验中,应用相似系数来评价分离结果的准确性^[2],当相似系数大于0.7时,认为两个信号相似,分离成功,否则认为分离失败。

2.1 仿真实验1

仿真实验采用的源信号如下: $s_1(t) = \sin[2\pi \cdot 150t/f_s - 6\cos(2\pi \cdot 60t/f_s)]$; $s_2(t) = \sin[2\pi \cdot 9t/(2f_s)] \cdot \sin[2\pi \cdot 300t/(2f_s)]$; $s_3(t) = \text{sgn}[\cos(2\pi \cdot 155t/(2f_s))]$; $s_4(t) = 1 - 2 \cdot \text{rand}(1, T)$ 。其中,采样频率 $f_s = 5000$ Hz,采样点数 $T = 5000$,天线阵列数为4,混合矩阵 \mathbf{A} 由任意函数生成。

1) 接收天线和真实源数都为4,源数估计值 $\hat{n} = 3$ 。在观测信号信噪比为15 dB、接收天线和真实源数都为4的情况下,若源数估计 $\hat{n} = 3$,应用自然梯度算法,仿真5次,分离得到的源信号估计值与真实源信号的相似系数矩阵如下所示。

$$\text{第1次:} \begin{bmatrix} 0.0415 & \mathbf{0.7584} & -0.1423 \\ -\mathbf{0.9709} & 0.0086 & 0.0523 \\ -0.0252 & 0.0220 & -\mathbf{0.7740} \\ 0.0119 & -0.0155 & -0.0030 \end{bmatrix}。$$

第1,2,3个源信号分别与第2,1,3个分离信号相似,第4个源信号分离失败。

$$\text{第2次:} \begin{bmatrix} 0.0674 & \mathbf{0.9582} & 0.0482 \\ \mathbf{0.9835} & 0.0753 & 0.1363 \\ -0.0404 & 0.1028 & -0.4110 \\ 0.0140 & -0.0078 & 0.0007 \end{bmatrix}。$$

第1,2个源信号分别与第2,1个分离信号相似,第3,4两个源信号分离失败。

$$\text{第3次:} \begin{bmatrix} -\mathbf{0.8990} & -0.0938 & 0.1356 \\ -0.0696 & -0.0471 & \mathbf{0.9354} \\ 0.0925 & \mathbf{0.7340} & -0.1383 \\ -0.0113 & 0.0083 & 0.0043 \end{bmatrix}。$$

第1,2,3个源信号分别与第1,3,2个分离信号相似,第4个源信号分离失败。

$$\text{第4次:} \begin{bmatrix} -\mathbf{0.7302} & -0.1680 & -0.0767 \\ -0.0306 & -\mathbf{0.9673} & 0.0028 \\ 0.1389 & 0.0456 & -\mathbf{0.9349} \\ -0.0175 & -0.0006 & -0.0089 \end{bmatrix}。$$

第1,2,3个源信号分别与第1,2,3个分离信号相似,第4个源信号分离失败。

$$\text{第5次:} \begin{bmatrix} -\mathbf{0.9711} & 0.0378 & 0.1194 \\ -0.0819 & \mathbf{0.9250} & 0.0927 \\ 0.0180 & -0.2192 & -\mathbf{0.7345} \\ 0.0079 & 0.0158 & 0.0138 \end{bmatrix}。$$

第 1,2,3 个源信号分别与第 1,2,3 个分离信号相似,第 4 个源信号分离失败。

2) 接收天线和真实源数都为 4,源数估计值 $\hat{n}=2$ 。在观测信号信噪比为 15 dB、接收天线和真实源数都为 4 的情况下,若源数估计 $\hat{n}=2$,综合混合矩阵估计和信号分离操作,仿真 5 次,分离得到的源信号估计值与真实源信号的相似系数矩阵如下所示。

$$\text{第 1 次:} \begin{bmatrix} 0.567 6 & -0.003 4 & 0.172 6 & 0.029 4 \\ 0.116 6 & -\mathbf{0.963 8} & 0.125 5 & 0.006 9 \end{bmatrix}^{\circ}$$

第 2 个源信号与第 2 个分离信号相似,第 1,3,4 个源信号分离失败;

$$\text{第 2 次:} \begin{bmatrix} \mathbf{0.735 1} & 0.399 1 & -0.132 3 & -0.011 5 \\ 0.174 3 & -0.288 2 & 0.674 0 & -0.021 1 \end{bmatrix}^{\circ}$$

第 1 个源信号与第 1 个分离信号相似,第 2,3,4 个源信号分离失败。

$$\text{第 3 次:} \begin{bmatrix} 0.102 2 & \mathbf{0.899 0} & -0.233 4 & -0.007 2 \\ -0.507 3 & 0.021 7 & -\mathbf{0.771 5} & -0.007 9 \end{bmatrix}^{\circ}$$

第 2,3 个源信号分别与第 1,2 个分离信号相似,第 1,4 个源信号分离失败。

$$\text{第 4 次:} \begin{bmatrix} 0.247 9 & \mathbf{0.842 3} & -0.285 5 & -0.010 1 \\ -0.649 6 & -0.067 7 & -0.154 0 & 0.008 2 \end{bmatrix}^{\circ}$$

第 2 个源信号与第 1 个分离信号相似,第 1,3,4 个源信号分离失败。

$$\text{第 5 次:} \begin{bmatrix} -0.010 7 & 0.583 7 & -0.569 5 & -0.004 5 \\ -\mathbf{0.920 5} & 0.151 3 & 0.210 4 & -0.009 8 \end{bmatrix}^{\circ}$$

第 1 个源信号与第 2 个分离信号相似,第 2,3,4 个源信号分离失败。

2.2 仿真实验 2

仿真中应用的 3 路源信号为如下调制方式的雷达信号: s_1 为 AM 信号,信号为 $0.5 + 0.5\cos(2\pi f_1 t) \cdot \sin(2\pi f_0 t)$, $f_0 = 10 \text{ MHz}$, $f_1 = 0.2 \text{ MHz}$; s_2 为 LFM 信号,调频带宽为 20 MHz,载波频率为 6 MHz,脉冲重复频率为 0.1 MHz; s_3 为 NLFM 信号,脉冲宽度为 7 μs ,脉内信号为 $\cos[2\pi(f_0 t + a_1 t^2/2 + a_2 t^3/2)]$,载波频率 f_0 为 10 MHz, $a_1 = 0.5 \times 10^{12} \text{ Hz/s}$, $a_2 = 1 \times 10^{16} \text{ Hz/s}^2$ 。

仿真中,阵列天线通道数为 3,则混合矩阵 A 是一个 3×3 的列满秩矩阵, n 为源信号个数,本仿真实验中 A 由随机函数产生。接收机采样频率为 200 MHz,采样点数为 4000。

1) 接收天线和真实源数都为 3,源数估计值 $\hat{n}=2$ 。在观测信号信噪比为 15 dB、接收天线和真实源数都为 3 的情况下,若源数估计 $\hat{n}=2$,仿真 5 次,分离得到的源信号估计值与真实源信号的相似系数矩阵如下所示。

$$\text{第 1 次:} \begin{bmatrix} -0.645 1 & -0.483 3 & -0.140 7 \\ 0.033 1 & -0.400 9 & \mathbf{0.872 3} \end{bmatrix}^{\circ}$$

第 3 个源信号与第 2 个分离信号相似,第 1,2 个源信号分离失败。

$$\text{第 2 次:} \begin{bmatrix} 0.021 8 & -0.209 8 & -\mathbf{0.932 9} \\ -0.543 4 & -0.699 7 & 0.097 3 \end{bmatrix}^{\circ}$$

第 3 个源信号与第 1 个分离信号相似,第 1,2 个源信号分离失败。

$$\text{第 3 次:} \begin{bmatrix} 0.151 4 & -0.029 8 & -\mathbf{0.903 5} \\ -0.314 9 & -0.086 5 & 0.196 1 \end{bmatrix}^{\circ}$$

第 3 个源信号与第 1 个分离信号相似,第 1,2 个源信号分离失败。

$$\text{第 4 次:} \begin{bmatrix} -0.041 6 & \mathbf{0.899 5} & 0.017 9 \\ 0.236 9 & 0.003 3 & \mathbf{0.938 1} \end{bmatrix}^{\circ}$$

第 2,3 个源信号分别与第 1,2 个分离信号相似,第 1 个源信号分离失败。

$$\text{第 5 次:} \begin{bmatrix} 0.510 2 & -0.260 7 & 0.388 2 \\ -0.052 9 & 0.697 5 & 0.637 6 \end{bmatrix}^{\circ}$$

3 个源信号分离都失败。

2) 接收天线和真实源数都为 3,源数估计值 $\hat{n}=1$ 。在观测信号信噪比为 15 dB、接收天线和真实源数都为 3 的情况下,若源数估计值 $\hat{n}=1$,仿真 5 次,分离得到的源信号估计值与真实源信号的相似系数矩阵如下所示。

$$\text{第 1 次:} [-0.200 2 \quad -0.468 4 \quad \mathbf{0.845 3}]^{\circ}$$

第 3 个源信号与第 1 个分离信号相似,第 1,2 个源信号分离失败。

$$\text{第 2 次:} [0.400 3 \quad -\mathbf{0.823 8} \quad 0.076 8]^{\circ}$$

第 2 个源信号与第 1 个分离信号相似,第 1,3 个源信号分离失败。

$$\text{第 3 次:} [0.024 1 \quad 0.571 3 \quad -\mathbf{0.808 7}]^{\circ}$$

第 3 个源信号与第 1 个分离信号相似,第 1,2 个源信号分离失败。

$$\text{第 4 次:} [-0.129 9 \quad -0.537 0 \quad \mathbf{0.797 0}]^{\circ}$$

第 3 个源信号与第 1 个分离信号相似,第 1,2 个源信号分离失败。

$$\text{第 5 次:} [-0.083 2 \quad \mathbf{0.800 3} \quad -0.549 9]^{\circ}$$

第 2 个源信号与第 1 个分离信号相似,第 1,3 个源信号分离失败。

3 源数估计对于正定模型欠定化影响仿真实验

采用基于时频单源点检测的混合矩阵估计算法对混合矩阵进行估计,信号恢复算法采用子空间表示法^[7]。仿真中,采用的源信号为 3 个真实的语音信号,传感器接收阵列数为 3 路,其余仿真条件同文献[7]。图 1 为仿真中所采用的源信号波形。分离结果的准确

度仍然采用相似系数进行评价^[2]。

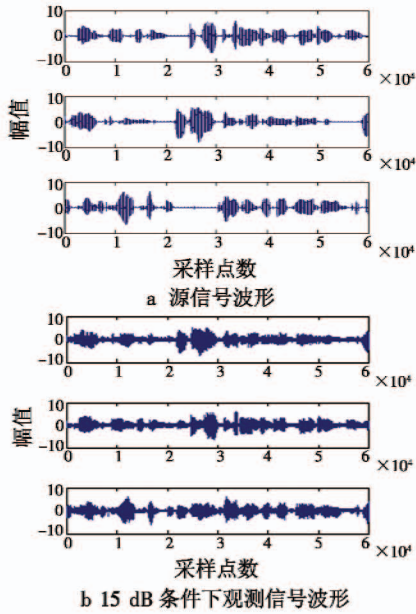


图 1 语音信号波形

Fig. 1 Waveform of voice signals

1) 接收天线和真实源数都为 3, 源数估计值 $\hat{n} = 4$ 。

在观测信号信噪比为 15 dB、接收天线和真实源数都为 3 的情况下, 若源数估计 $\hat{n} = 4 > n = 3$, 综合混合矩阵估计和信号分离操作, 仿真 5 次, 分离得到的源信号估计值与真实源信号的相似系数矩阵如下所示。

$$\text{第 1 次: } \begin{bmatrix} 0.3123 & \mathbf{0.9323} & 0.0433 \\ \mathbf{0.9352} & 0.2911 & -0.1237 \\ -0.0631 & 0.0542 & \mathbf{0.9793} \\ -0.5777 & \mathbf{0.7835} & -0.1296 \end{bmatrix}。$$

第 1, 2, 3, 4 个分离信号分别与第 2, 1, 3, 2 个源信号相似。

$$\text{第 2 次: } \begin{bmatrix} -0.5561 & \mathbf{0.7953} & 0.1421 \\ 0.0634 & -0.1053 & \mathbf{0.9760} \\ \mathbf{0.9470} & 0.2386 & 0.0978 \\ 0.2419 & \mathbf{0.9476} & -0.1443 \end{bmatrix}。$$

第 1, 2, 3, 4 个分离信号分别与第 2, 3, 1, 2 个源信号相似。

$$\text{第 3 次: } \begin{bmatrix} -0.0543 & 0.1868 & \mathbf{0.9603} \\ \mathbf{0.9706} & 0.1238 & -0.1220 \\ 0.1923 & \mathbf{0.9371} & 0.2107 \\ -0.2473 & \mathbf{0.8368} & -0.4648 \end{bmatrix}。$$

第 1, 2, 3, 4 个分离信号分别与第 3, 1, 2, 2 个源信号相似。

$$\text{第 4 次: } \begin{bmatrix} 0.2563 & 0.6873 & -0.6762 \\ \mathbf{0.9717} & -0.0739 & 0.1073 \\ -0.1764 & \mathbf{0.9525} & 0.1522 \\ 0.0672 & 0.2468 & \mathbf{0.9424} \end{bmatrix}。$$

第 2, 3, 4 个分离信号分别与第 1, 2, 3 个源信号相似。

$$\text{第 5 次: } \begin{bmatrix} 0.1279 & \mathbf{0.9541} & -0.2301 \\ -0.6316 & 0.5450 & 0.5182 \\ \mathbf{0.9434} & 0.2105 & 0.1595 \\ 0.2156 & -0.1653 & \mathbf{0.9432} \end{bmatrix}。$$

第 1, 3, 4 个分离信号分别与第 2, 1, 3 个源信号相似。

2) 接收天线和真实源数都为 3, 源数估计值 $\hat{n} = 5$ 。在观测信号信噪比为 15 dB、接收天线和真实源数都为 3 的情况下, 若源数估计 $\hat{n} = 5$, 综合混合矩阵估计和信号分离操作, 仿真 5 次, 分离得到的源信号估计值与真实源信号的相似系数矩阵如下所示。

$$\text{第 1 次: } \begin{bmatrix} -0.5262 & \mathbf{0.7420} & -0.3742 \\ -0.1451 & -0.1913 & \mathbf{0.9601} \\ 0.3313 & \mathbf{0.9013} & -0.2473 \\ \mathbf{0.9573} & 0.2207 & -0.0794 \\ 0.0816 & 0.4513 & \mathbf{0.8584} \end{bmatrix}。$$

第 1, 2, 3, 4, 5 个分离信号分别与第 2, 3, 2, 1, 3 个源信号相似。

$$\text{第 2 次: } \begin{bmatrix} -0.1545 & \mathbf{0.9534} & 0.1671 \\ -0.3393 & 0.2068 & \mathbf{0.9009} \\ 0.2618 & -0.5544 & \mathbf{0.7742} \\ \mathbf{0.9038} & -0.1460 & -0.3706 \\ \mathbf{0.7798} & 0.5808 & 0.1332 \end{bmatrix}。$$

第 1, 2, 3, 4, 5 个分离信号分别与第 2, 3, 3, 1, 1 个源信号相似。

$$\text{第 3 次: } \begin{bmatrix} 0.1917 & \mathbf{0.9638} & 0.0431 \\ \mathbf{0.9762} & 0.1118 & 0.0197 \\ 0.0620 & 0.0407 & \mathbf{0.9779} \\ -0.2921 & \mathbf{0.8081} & 0.4650 \\ 0.0401 & 0.5173 & \mathbf{-0.8470} \end{bmatrix}。$$

第 1, 2, 3, 4, 5 个分离信号分别与第 2, 1, 3, 2, 3 个源信号相似。

$$\text{第 4 次: } \begin{bmatrix} -0.1633 & 0.1071 & \mathbf{0.9639} \\ \mathbf{0.9469} & 0.2545 & 0.0597 \\ -0.4824 & \mathbf{0.8457} & -0.1350 \\ 0.1419 & -0.1938 & \mathbf{0.9539} \\ 0.3390 & \mathbf{0.9070} & -0.2108 \end{bmatrix}。$$

第 1, 2, 3, 4, 5 个分离信号分别与第 3, 1, 2, 3, 2 个源信号相似。

$$\text{第 5 次: } \begin{bmatrix} 0.0651 & 0.1133 & \mathbf{0.9701} \\ \mathbf{0.9519} & 0.1417 & 0.1804 \\ 0.1436 & \mathbf{0.9593} & 0.1467 \\ 0.6097 & 0.6459 & -0.4526 \\ -0.6922 & 0.6953 & -0.0070 \end{bmatrix}。$$

第 1,2,3 个分离信号分别与第 3,1,2 个源信号相似。

4 实验结果分析

4.1 源数估计使得正定模型变为超定模型

在混合信号信噪比为 15 dB 的情况下:

1) 当接收天线和真实源数都为 4, 源数估计值 $\hat{n} = 3$ 时, 若源数估计值 $\hat{n} = 3$ 少于真实的源数 4, 则绝大部分情况下, 4 个源信号中的 3 个能被正确分离出来, 其中 1 个不能获得分离;

2) 当接收天线和真实源数都为 4, 源数估计值 $\hat{n} = 2$ 时, 若源数估计值 $\hat{n} = 2$ 少于真实的源数 4, 则绝大部分情况下, 4 个源信号中只有 1 个能被正确分离出来, 少数情况下能够成功分离出 2 个源信号;

3) 当接收天线和真实源数都为 3, 源数估计值 $\hat{n} = 2$ 时, 若源数估计值 $\hat{n} = 2$ 少于真实的源数 3, 则绝大部分情况下, 3 个源信号中只有 1 个能被正确分离出来, 少数情况下能够成功分离出 2 个源信号, 或者 3 个源信号全部分离失败;

4) 当接收天线和真实源数都为 3, 源数估计值 $\hat{n} = 1$ 时, 若源数估计值 $\hat{n} = 1$ 少于真实的源数 3, 则基本上每次都只有 1 个源信号获得成功分离。

4.2 源数估计使得正定模型变为欠定模型

在混合信号信噪比为 15 dB 的情况下:

1) 当接收天线和真实源数都为 3, 源数估计值 $\hat{n} = 4$ 时, 若源数估计值 $\hat{n} = 4$ 大于真实的源数 3, 则 3 个源信号都能被正确分离出来, 只是其中某些信号可能会出现不止 1 次, 通过检测分离信号的相关性, 就可以剔除掉冗余的拷贝信号;

2) 当接收天线和真实源数都为 3, 源数估计值 $\hat{n} = 5$ 时, 若源数估计 $\hat{n} = 5$ 多于真实的源数 3, 则 3 个源信号都能被正确分离出来, 同样是其中某些信号可能会出现不止 1 次。

5 结论

针对盲源分离算法中研究和应用较多的独立分量分析算法, 由于源数估计为算法应用的前提, 也是一个技术难点, 研究了在源数估计对于独立分量分析算法

应用效果的影响。

1) 对于观测天线数等于实际源数的 ICA 正定模型, 在源数估计少于真实源数的情况下, 正定模型变为超定模型, 采用自然梯度算法, 开展了观测信号混叠加性噪声情况下的分离实验, 结果表明: 对于正定模型超定化问题, 由于源数估计值少于真实源数, 在满足一定信噪比的情况下, 通常有数目等于源数估计值的源信号能够成功分离, 源数估计值越少, 成功分离的源信号越少。

2) 对于正定模型欠定化问题, 采用基于时频单源检测的混合矩阵估计算法, 结合时频单源点算法和子空间表示法, 综合研究了欠定条件下源数估计对于信号分离的影响。结果表明: 若源数估计值大于实际的源数, 通常情况下能够正确分离得到所有源信号, 只是分离信号中包含的实际源信号中的 1 个或多个出现了拷贝, 可以通过检测分离信号的相关性, 对拷贝信号进行剔除或合并, 对分离效果无影响。

参考文献

- [1] HYVARINEN A, KARHUNEN J, OJA E. 独立成分分析 [M]. 周宗潭, 董国华, 徐昕, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [2] 余先川, 胡丹. 盲源分离理论与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [3] RUIZ R A S, RANTA R, LOUIS-DORR V. EEG montage analysis in the blind source separation framework [J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2011, 6(1): 77-84.
- [4] 孙世钧, 李秀坤, 孟祥夏. 水下目标几何结构回波时频域盲源分离 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2015, 36(8): 1-6.
- [5] 郑晖. 通信中盲信号处理理论与技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [6] AMARI S I. Natural gradient learning for over- and under-complete bases in ICA [J]. Neural Computation, 1999, 11(9): 1875-1883.
- [7] KIM S G, YOO C D. Underdetermined blind source separation based on subspace representation [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 57(7): 2604-2614.

欢迎订阅期刊 欢迎刊登广告