

A Novel Blind Source Separation Algorithm in Walsh Transform Field

YANG Yu-lin, LUO Ming-chao, YANG Kui, LIU Ying

The First Aeronautic Institute of the Air Force, Xinyang, 464000, China
brightma@126.coms

Abstract: As a novel signal processing algorithms, blind source separation(BSS) has become a focus. BSS by transform is one of main research fields and there were not some reports on BSS by Walsh transform. A novel BSS algorithm is proposed by performing BSS in Walsh coefficients of mixture to estimate the mixing matrix. Computer simulation shows the validity of the proposed algorithm in separating audio signals.

Keywords: blind source separation; Walsh transform; computer simulation

一种 Walsh 变换域的盲源分离算法

杨玉林, 罗明超, 杨魁, 刘鹰

空军第一航空学院, 信阳, 464000, 中国,
brightma@126.coms

【摘要】作为一种新兴的信号处理方法,盲源分离是目前研究的热点之一。在变换域进行盲源分离是盲源分离算法的研究方向之一,目前尚未有关于 Walsh 变换用于盲源分离的报道。提出了一种基于 Walsh 变换的盲源分离算法,该算法将混合信号进行 Walsh 变换,然后对 Walsh 系数进行盲源分离,获得混合矩阵的估计,从而得到源信号,计算机仿真表明,提出的算法可以有效地分离语音信号。

【关键词】盲源分离; Walsh 变换; 计算机仿真

1 盲源分离简介

盲源分离就是从观测到的混叠信号中恢复出源信号,所谓的盲指的当传输信道的特性未知时,从接收信号的阵列中估计出源信号的波形。当然,在缺乏先验知识的情况下,不可能唯一地确定源信号。导致信号在恢复出来时存在一定的模糊性:排序的模糊性和幅度比例伸缩,但恢复的信号依然保留了源信号的波形信息。在一定程度上,这并不影响对信号的理解和处理。

盲信号分离的基本模型,假设有 n 个信源,通过线性混合后,由 m 个探测器(传感器)接收,整个系统用矩阵表示如下:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{S} + \mathbf{n} \quad (1)$$

式(1)中, $\mathbf{S}$ 为未知的 n 个源信号, $\mathbf{A}$ 为 $m \times n$ 的混合矩阵, $\mathbf{n}$ 为噪声, $\mathbf{X}$ 为传感器接收到的信号。一般情况下,假设源信号与观测信号维数相同,在噪声不存在或者可以忽略不计的情况下,这时盲源分离的模型如下:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{S} \quad (2)$$

盲源分离的目标是在一定准则下,寻找矩阵 $\mathbf{A}$ 的逆矩阵 $\mathbf{W}$,得到对信源 $\mathbf{S}$ 的估计:

$$\hat{\mathbf{S}} = \mathbf{Y} = \mathbf{W}\mathbf{X} = \mathbf{W}\mathbf{A}\mathbf{S} \quad (3)$$

如果 $\mathbf{W}\mathbf{A} = \mathbf{I}$,则 $\mathbf{Y} = \mathbf{S}$,实现了对源信号的估计。一般情形下,假设源信号统计独立。因此盲源分离问题有时也称独立变量分析(Independent Component Analysis)。信号之间独立意味着不相关,但信号不相关不一定独立,因为不相关只是二阶统计量,只有当所有高阶统计量都不相关时,信号之间才是独立的。基于高阶统计量的盲源分离算法比较有代表性的是JADE算法(特征矩阵的联合近似对角化法),将四维累积量矩阵做联合对角化,求得混合矩阵的逆矩阵。

2 Walsh 变换的定义与用途

1923年,J. L. Walsh 定义了一个在区间(0, 1)上正交、归一化的函数 Walsh 函数[3]。N阶 Walsh 函数定

义为 N 段函数的集合： $\{W_j(t); t \in (0, T), j = 0, 1, \dots, N-1\}$ 。Walsh 函数具有如下性质：

a. 除了在一些跳跃点上取值为零外， $W_j(t)$ 仅在集合 $\{+1, -1\}$ 上取值；

b. 对所有的 j ， $W_j(0) = 1$ ；

c. 在 $(0, T)$ 区间内， $W_j(t)$ 精确地有 j 次符号变化；

d. 正交性：
$$\int_0^T W_j(t) W_k(t) dt = \begin{cases} 0, & j \neq k \\ T, & j = k \end{cases}$$

d. 关于区域的中点，每个函数 $W_j(t)$ 不是奇函数就是偶函数。

所谓 walsh 变换，是指将输入数据 $\{x(k)\}$ 加工成输出数据 $\{x(j)\}$ 的一组算式：

$$x\{j\} = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) W_k(j, k) \quad j = 0, 1, \dots, N-1$$

正交函数是电子工程的数学基础之一。在经典的通信理论中，正弦、余弦函数系被用来分解一个信号或以其副载波进行多路传输。随着数字技术的发展，信号普遍采取数字脉冲波形的形式，图像采用多种数字储存格式，Fourier 分析的三角函数系(所谓简谐波)不便于描述这类信息。国内外的专家学者们于 60 年代末发现 Walsh 函数适合于表示数字信号，而且由于 Walsh 函数也具有同 FFT 相类似的快速算法，从而使 Walsh 函数在信号处理、图像编码、遥控测控、语言处理、雷达等诸多领域中得到了广泛应用。

3 提出的算法

在 Walsh 变换域进行盲源分离，得到分离矩阵 $\hat{A}^{-1}$ 的估计，进而根据关系：

$$Y = \hat{A}^{-1} X = \hat{A}^{-1} A S = S \quad (4)$$

得到源信号的估计。

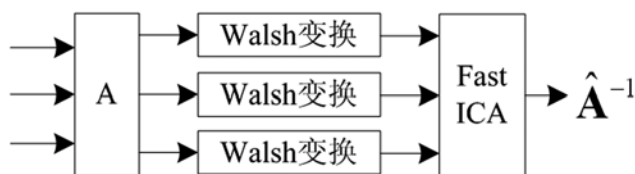


图 1 提出的算法
Figure 1 Proposed BSS algorithm

4 计算机仿真

为了验证提出算法的性能，采用两段自然语音，其波形图如图 2 中的 s_1 和 s_2 ，他们分别是两段中央广播电台主持人的声音，将这两段语音信号采用混合矩阵 $A = [0.0011 \ 0.0040; 0.0004 \ 0.0039]$ 进行线性混合，

得到的混合语音信号如图 2 中的 x_1 和 x_2 。比较混合前后的语音，可以看出，混合后的语音是源语音的叠加。

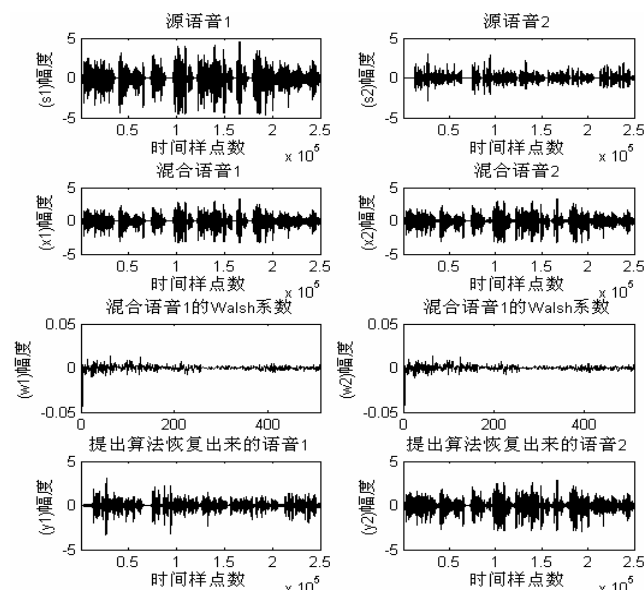


图 2 语音分离试验
Figure 2 Experiment of blind speech separation

采用图 1 所示的算法，首先将混合信号 x_1 和 x_2 作 Walsh 变换，得到的 Walsh 系数如图 2 中 w_1 和 w_2 所示。然后将此 Walsh 系数用 FastICA 算法进行分离，获得混合矩阵 A 的估计及对应的逆矩阵，将此逆矩阵乘以混合语音，最终得到恢复出的语音，如图 2 中 y_1 和 y_2 所示。比较图 2 中的 s_1 和 s_2 及 y_1 和 y_2 ，可以看出，恢复出的语音与源语音在波形上是相似的，实际听觉效果也表明，恢复出来的语音与源语音基本一致。恢复出信号的顺序会颠倒，这是由于盲源分离中的排序不确定性造成的。

5. 结论

在变换域进行盲源分离是盲源分离算法的研究方向之一，如利用小波变换，然后通过对小波系数进行阈值滤波后进行盲分离，可以有效地抵抗噪声的干扰。目前尚未有关于 Walsh 变换用于盲源分离的报道，提出了一种基于 Walsh 变换的盲源分离算法，该算法将混合信号进行 Walsh 变换，然后对 Walsh 系数进行盲源分离，获得混合矩阵的估计，从而得到源信号，计算机仿真表明，提出的算法可以有效地分离语音信号。该算法只能解决瞬时混合语音的分离问题，对于实际语音的分离效果有待进一步研究^{[4]~[7]}。

References(参考文献)

- [1] Aapo Hyvärinen, Juha Karhunen, Erkki Oja. Independent Component Analysis [M]. Chichester, England: John Wiley. 2001. Chap1-3.
- [2] Cichocki A, Amari S. Adaptive blind signal and image processing: learning and applications [M]. John Wiley & Sons, Ltd, 2002. P23-45.
- [3] Walsh J. L, A Closed Set of Normal Orthogonal Function[J], American Journal of Mathematics, 1923, vol. 45, P5-24.
- [4] Yalan Ye, Zhi-Lin Zhang, Jiazhi Zeng, Lei Peng, A fast and adap-

- tive ICA algorithm with its application to fetal electrocardiogram extraction[J], *Applied Mathematics and Computation*, 16 (2008), P181-192.
- [5] Zhenwei Shi , Zhiguo Jiang, Fugen Zhou, A fixed point algorithm for blind source separation with nonlinear autocorrelation[J], *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2008, P1-8.
- [6] Zhenwei Shi , Dan Zhang , Changshui Zhang, MACBSE: Extracting signals with linear autocorrelations[J]. *Neurocomputing*, 71 (2008), P1082-1091.
- [7] Jiann-Ming Wu, Blind separation of fetal electrocardiograms by annealed expectation maximization[J]. *Neurocomputing*, 71, (2008), P1500-1514.