

原信号の統計的性質と超指数法を用いたブラインド信号分離

八幡 和士宏* 荒木 貴行* 河野 清尊*

* 米子工業高等専門学校

Examination of Statistical Properties of Source Signals and Blind Source Separation for Audio and Image Using Super-Exponential Method

Naohiro Yawata* and Takayuki Araki* and Kiyotaka Kohno*
*Yonago National College of Technology

Abstract: In this paper, we examine the statistical properties of the source signals of communication, audio and image. Based on these results, we propose new blind signal separation technique of audio and image using the Super Exponential Method.

1. はじめに

ブラインド信号処理とは、Fig.1 に示すように、原信号と混合システムが未知であるとき、観測信号のみから、原信号を復元・分離するデジタル信号処理技術である¹⁾。ブラインド信号処理は資源探査の分野で研究が始められ、現在では移動体通信、音声・音響処理、画像処理や脳化学の分野で活発に研究されている。

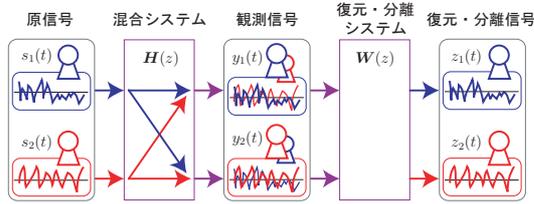


Fig.1 Model of blind signal processing

通信分野におけるブラインド信号復元・分離アルゴリズムとして超指数法が研究されているが²⁾、通信信号のような統計的性質を満たさない音声や画像には適用できない。そのため本研究では、通信・音声・画像各分野の原信号の統計的性質を調べ、通信信号の統計的性質と同等の性質を有するように音声・画像の原信号に前処理を施すことにより、超指数法に手を加えることなくブラインド信号分離を実現する手法を提案するとともに、その有効性を計算機シミュレーションにより検証する。

2. 原信号の統計的性質

2.1 調査した原信号

Fig.2 に本研究で用いた原信号を示す。(a), (d) の通信信号はデータ長 10000 の 4PSK と 8PSK で、(b), (e) の音声信号はデータ長 48000 の女性 (woman) と男性 (man) の声で、(c), (f) の画像は 256 × 256 画素モノクロ 256 階調の人工画像 (SIDBA) と自然画像 (Lenna) である。

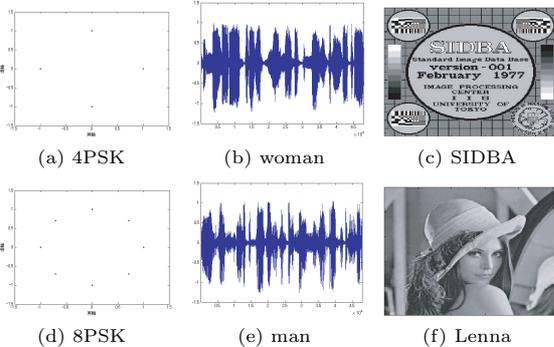


Fig.2 Source signals

2.2 統計的性質

これらの原信号に対して、基本的な統計量である平均と分散、非ガウス性を評価するための 4 次キュムラントとヒストグラム (確率密度関数)、白色性を評価するための 2 次自己相関関数を以下の式を用いて求めた。

• 平均
$$E[X] = \mu = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x(t) \quad (1)$$

• 分散
$$E[(X - \mu)^2] = \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (x(t) - \mu)^2 \quad (2)$$

• 4 次キュムラント
$$\kappa_4 = E[X^4] - 3(E[X^2])^2 - 4E[X^3]E[X] + 12E[X^2](E[X])^2 - 6(E[X])^4 \quad (3)$$

• 2 次自己相関関数
$$r_2(l) = \sum_{t=1}^N x(t)x(t+l) \quad (4)$$

各原信号の統計量の計算結果を Table 1, Fig.3, Fig.4 に示す。

Table 1 Statistics of source signals

原信号	平均	分散	4 次キュムラント
4PSK	-0.50×10^{-5} $-2.40 \times 10^{-3}i$ (≈ 0)	1.00	-2.00
8PSK	4.20×10^{-3} $+1.60 \times 10^{-3}i$ (≈ 0)	1.00	-2.00
woman	4.01×10^{-5} (≈ 0)	5.88×10^{-2}	1.00×10^{-2}
man	-3.72×10^{-7} (≈ 0)	3.97×10^{-2}	8.80×10^{-3}
SIDBA	138	5.63×10^3	-1.80×10^7
Lenna	123	2.23×10^3	-4.18×10^6

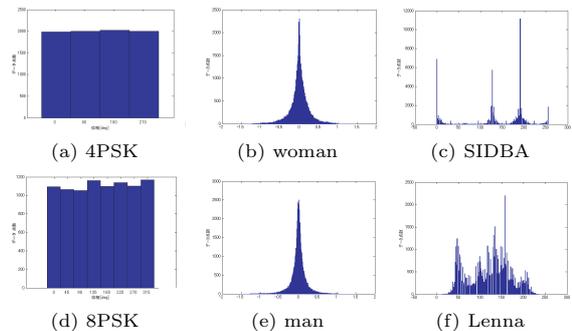


Fig.3 Histograms of source signals

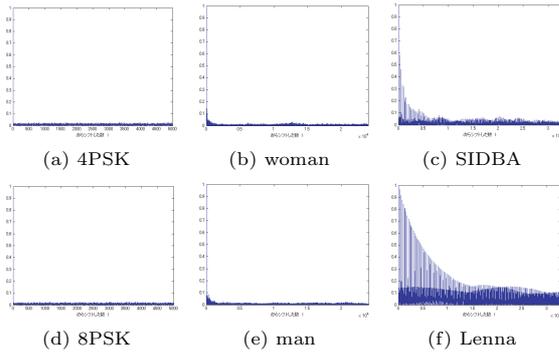


Fig.4 Autocorrelation (the vertical axis is $r_2(l)$, the horizontal axis is l)

Fig.4(a), (d) では $r_2(0)$ の値が最大となり, $l \geq 1$ の $r_2(l)$ は 0 に近い値となっている. このことから, 通信信号は完全に無相関であり, 白色であることがわかる. また Fig.4(b), (e) では, $r_2(1000)$ の近辺まで若干大きい値が続くため, 音声信号はやや相関がある. Fig.4(c), (f) より, 画像は相関が大きい. このことから, 音声信号と画像は有色であることがわかる.

以上の結果から, 各原信号の統計的性質をまとめると表 2 のようになる.

Table 2 Statistical characters of source signals

信号	平均	分散	4次 キウム ラント	非ガウス性	白色性
通信	0	非 0	非 0 (負の値)	非ガウス (劣ガウス)	白色
音声	0 非 0	非 0	非 0 (正の値) 非 0	非ガウス (優ガウス) 非ガウス	有色
画像	(正の値)	非 0	(負の値)	(劣ガウス)	有色

3. 超指数法とは

超指数法とは, Shalvi と Weinstein が 1993 年に提案した 1 入力 1 出力 (Single Input Single Output: SISO) 線形システムに対するブラインド信号復元法である. 復元・分離システム (等化器) のタップの更新ごとに符号間干渉が整数ベキの累乗の比で減少する逐次型のアルゴリズムであり, 等化器の初期値によらず, 望ましい解に非常に高速に収束するという特長を有しており, 主に通信分野で用いられている. 現在では MIMO システムにも拡張されている²⁾.

3.1 超指数法における原信号の仮定

超指数法は原信号に以下のような統計的性質があるものと仮定している.

- (1) 平均が 0 である.
- (2) 分散と 4 次キウムラントが 0 でない.
- (3) 非ガウス性がある.
- (4) 独立同一分布 (independently and identically distributed: i.i.d) (高次白色) である.

Table 2 の各原信号の統計的性質を見ると, 通信信号はこれらの条件を全て満たしているが, 音声信号は白色性が, 画像は平均 0 と白色性が満たされていないことがわかる.

4. 原信号に施す前処理

超指数法に変更を加えることなく音声・画像のブラインド信号分離を実現するために, 音声信号と画像に以下のような前処理を施す手法を提案する.

- 平均ゼロ化
画像の画素値から平均を差し引いた後, 最大振幅で正規化して新たな原信号とする. 分離後は分離信号を最大振幅で正規化した後, 原信号の最大振幅を乗じて平均を加えることにより非負の値に戻す.
- 白色化
時間的 (音声) あるいは空間的 (画像) に並んだ信号の順番を定められた規則に従って入れ替え (スクランブル処理) して新たな原信号とする. 分離後は逆の入れ替え操作を施し元の順番に戻す.

音声信号・画像にスクランブル処理を施した場合の 2 次自己相関関数を Fig.5 に示す.

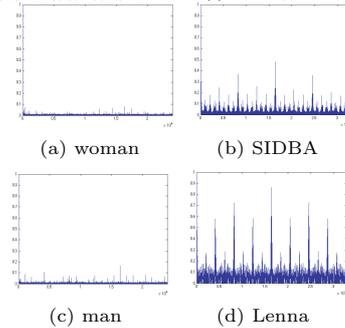


Fig.5 Scrambled autocorrelation (the vertical axis is $r_2(l)$, the horizontal axis is l)

これにより, 音声信号・画像ともにより白色に近づいたことがわかった.

5. 計算機シミュレーション

2 入力 2 出力空間的混合 MIMO システムのブラインド信号分離において, 提案した手法が有効に機能するかどうかを計算機シミュレーションにより確認した. シミュレーションでは混合システムとして $H = [0.9129 \ 0.2491; 0.1826 \ 0.8305]$ を用いた. また分離精度を示す評価尺度として多チャネル符号間干渉 (MISI) [dB] を用いた. MISI は目標値に近づくほど負の値が大きくなる.

Table 3 Simulation results [dB]

	通信信号	音声信号	画像
前処理前	-28.9478	-28.5390	2.3988
前処理後		-34.2687	-24.2460

Table 3 より, 前処理を施すことで分離結果が改善されたことが分かる. また今回使用した音声信号は白色に近かったため, 前処理を施さなくても十分分離されたと考えられる.

6. おわりに

本研究をまとめると以下ようになる.

- (1) 原信号の統計的性質を調べ, 平均ゼロ化・白色化といった各信号に適した前処理を行うことにより, 超指数法を音声・画像のブラインド信号分離に応用できることが分かった.
- (2) 今後の課題として, 混合システムが時空間的混合の場合にも本研究で提案した前処理が有効かどうかの検証が必要である.

参考文献

- 1) 村田 昇, “入門 独立成分分析,” 東京電機大学出版局, pp. 1-60, 2004.
- 2) Y.Inouye, K.Tanebe, ”Super-Exponential Algorithms for Multichannel Blind Deconvolution”, IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 48, No.3, pp. 881-888, Mar. 2000.