

最尤規範独立成分分析のパラメータ最適化による 複素正弦波信号分離手法

Separation Algorithm for Complex Sinusoidal Signals
using Maximum Likelihood ICA with Parameter Optimization

岡野哲大
Tetsuhiro Okano

木寺正平
Shouhei Kidera

桐本哲郎
Tetsuo Kirimoto

電気通信大学 大学院情報理工学研究科
Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications

1 はじめに

独立成分分析 (ICA:Independent Component Analysis) は源信号の統計的独立性だけを先験情報とするブラインド信号分離法である。レーダシステムのパルス圧縮処理やドップラーレーダ処理等への応用では、確定的な信号である複数の正弦波を分離する必要がある。同問題に対し、以前に我々は、複素正弦波の確率密度関数を組み入れた最尤規範独立成分分析法を提案してきた [1]。しかし、[1] では同分離性能が緩衝係数と呼ばれる学習係数に依存するという問題があった。本稿では、緩衝係数を最尤推定評価値により自動的に最適化し、フーリエ解析の周波数分解能以下でも高い分離性能を確保する手法を提案する。本手法の有効性を数値計算により示す。

2 独立成分分析とシステムモデル

源信号を $s_1(t) = \exp(j2\pi f_1 t)$, $s_2(t) = \exp(j2\pi f_2 t)$ とする。ただし、 t は離散化された時間、 f は周波数であり、 $f_1 \neq f_2$ とする。観測センサ数を 2 とし、各信号 $x_1(t)$, $x_2(t)$ は、 $x = As$ で表現されるとする。ただし、 $x = [x_1(t), x_2(t)]^T$, $s = [s_1(t), s_2(t)]^T$, $A_{(2 \times 2)}$ は正則行列である。独立成分分析により復元行列 $W_{(2 \times 2)}$ を決定し、分離信号 $u = Wx$ を得る。

3 提案法

既に複素正弦波の確率密度関数を先験情報とする最尤規範独立成分分析法を提案している。同手法の更新式は次式で表される [1]。

$$\Delta W = (I - r \langle \psi(u) u^H \rangle) W \quad (1)$$

ただし、 $\langle \cdot \rangle$ は時間平均、 I は単位行列、 H は複素共役転置、 $\psi(u)$ は、 $\psi(u) = (u^r / (1 - u^2) + ju^i / (1 - u^i)) / 2$ とし、 $\psi(u) = [\psi(u_1), \psi(u_2)]^T$ で与えられる。 u^r, u^i は u の実数部、虚数部、 r は緩衝係数である。従来法ではその分離性能が同係数に依存するため、適切な同係数を設定する必要がある。

本稿では、緩衝係数を最適化するため、尤度関数値を導入する。本モデルでは源信号の確率密度関数が既知であるため、真の尤度関数も既知となり、次式で表される。

$$L(W) = \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^2 \log \frac{1}{\pi^2 \sqrt{(1 - \text{Re}\{w_i^T x(t)\})^2 (1 - \text{Im}\{w_i^T x(t)\})^2}} + N \log |\det W| \quad (2)$$

ただし、 N はデータ長、 $W = (w_1, w_2)^T$, \det は行列式である。 $L(W)$ を最大化し、緩衝係数を最適化する。最大化方法は以下の方法とする。

1. 初期復元行列 W_I を FastICA [2] で求める。緩衝係数 r 、尤度関数値 L の初期値をそれぞれ 1, $-\infty$ とする。
2. 式 (1) に基づき、復元行列 W を更新する、式 (2) から評価値 $L(W)$ を算出する。
3. $L(W)$ が増大すれば、 $r \leftarrow r - \alpha$ とし、手順 2. に戻る。そうでない場合、 W を最終的な復元行列とする。
4. 数値計算による性能評価

図 1 に規格化周波数差に対する各手法の分離性能結果を示す。ただし、分離信号における源信号対干渉信号電力比を分離性能評価指標とする。破線は FastICA、一点鎖線は従来手法 ($r = 0.2$)、実線が提案法である。ただし、横軸は規格化周波数差 $|f_1 - f_2|$ であり、 $N = 256$ とする。同図から、提案法は図中の全ての周波数差に高い分離性能を保持する。周波数差 0.0035 で 10dB の向上が確認できる。

5 むすび

本稿では、最尤規範に基づく独立成分分析において、緩衝係数を尤度関数値で最適化する手法を提案した。

参考文献

- [1] 岡野哲大, 木寺正平, 桐本哲郎, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-2-31, Sep., 2010.
- [2] E. Bingham and A. Hyvärinen, *International Journal of Neural Systems*, Vol. 10, no. 1, pp. 1-8, 2000

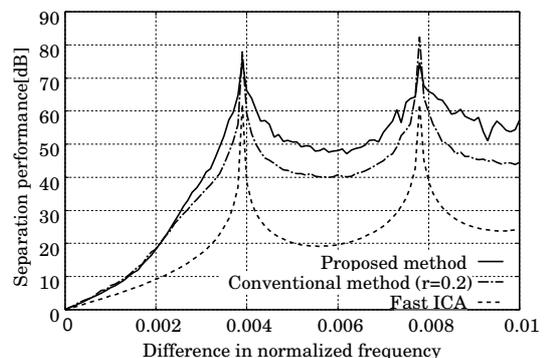


図 1 各手法での各周波数差に対する分離性能比較