

最尤規範独立成分分析法による複素正弦波信号の分離

ICA algorithm with likelihood criterion to separate mixtures of complex sinusoidal signals

岡野哲大
Tetsuhiro Okano

木寺正平
Shouhei Kidera

桐本哲郎
Tetsuo Kirimoto

電気通信大学 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前提としたブラインド信号分離法である。同手法が確定的信号である複素正弦波信号の分離にも有効であることが示されている [1]。しかし [1] の手法では、分離信号の非ガウス性最大化を指導原理としているため、信号の観測時間を T であるとき複素正弦波信号の周波数差が $1/T$ 以下のとき分離性能を保持することが困難であった。本稿では、複素正弦波の確率密度関数を組み入れた最尤規範に基づく ICA アルゴリズムを提案し、ICA の複素正弦波信号分離性能の向上を図る。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。2 つのセンサーで観測された信号 $x_1(t)$, $x_2(t)$ 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 は 2×2 の正則行列である。独立成分分析により復元行列 W を決定し、分離信号 $u = Wx$ を得る。

3 複素正弦波分離最尤規範独立分析法

最尤規範に基づく独立成分分析法の更新則は次式で表される [2]。

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

ただし、 $\langle \rangle$ は時間平均、 I は単位行列、 H は複素共役転置、 $\psi(u) = (\partial \log p_s(u) / \partial u_r + j \partial \log p_s(u) / \partial u_i) / 2$ である。ここで、 $p_s(u)$ は源信号の確率密度関数、 u_r , u_i は u の実数部、虚数部である。本稿では、スコア関数に複素正弦波の確率密度関数を導入する。ここで複素正弦波の実部と虚部は独立とする。複素正弦波の確率密度関数 $p_s(u) = 1/\pi^2 \sqrt{(A^2 - u_r^2)(A^2 - u_i^2)} (|u_r|, |u_i| < A)$ を用いるとスコア関数は次式で表される。

$$\psi(u) = \frac{u_r}{A^2 - u_r^2} + j \frac{u_i}{A^2 - u_i^2} \quad (2)$$

ただし、 A は振幅である。また、複素正弦波の確率密度関数を導入したスコア関数は $u_r, u_i \rightarrow \pm A$ で発散しており、式 (1) の ΔW の急激な変化を抑えるため、次式の修正スコア関数 $\hat{\psi}$ を導入する。

$$\hat{\psi}(u) = r\psi(u) \quad (3)$$

ただし、 r は $r < 1$ を満たす定数であり、以後緩衝係数と呼ぶ。

4 数値計算による性能評価

周波数の異なる 2 つの複素正弦波信号を適当な正則行列で混合し、観測信号を生成する。評価指標として SEP [1] を用いる。SEP は分離信号における源信号対干渉信号電力比を表す。図 1 に規格化周波数差に対する SEP の評価結果を示す。破線は非ガウス性最大化を規範としたアルゴリズムによる SEP を表し、一点鎖線は最尤規範によるアルゴリズムによる SEP を表し、実線が緩衝係数による提案アルゴリズム $r = 0.2$ による SEP を表す。ただし、横軸はサンプリング周波数で規格化された周波数差 $|f_1 - f_2|$ を示す。図 1 より、提案法が図中の全ての周波数差に高い SEP を保持できることがわかる。SEP 20dB 以上になれば、分離可能とする。分離可能な周波数差下限は、 $0.75/T$ から $0.55/T$ にまで改善される。なお、受信機雑音として白色性ガウス雑音を与えた場合、SN 比約 20dB 以上で提案法が有利であることを確認した。

5 むすび

緩衝係数を導入した最尤規範独立成分分析法を提案し、数値計算により評価した。その結果、提案法は従来法より全ての周波数差で分離性能が優れていることを示した。

参考文献

- [1] T. Kirimoto et al., *SICE Annual Conference.*, pp. 3424-3430, Aug. 2008
- [2] T. Adali et al., *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process.*, vol. 2, pp. 633-636, Apr. 2007

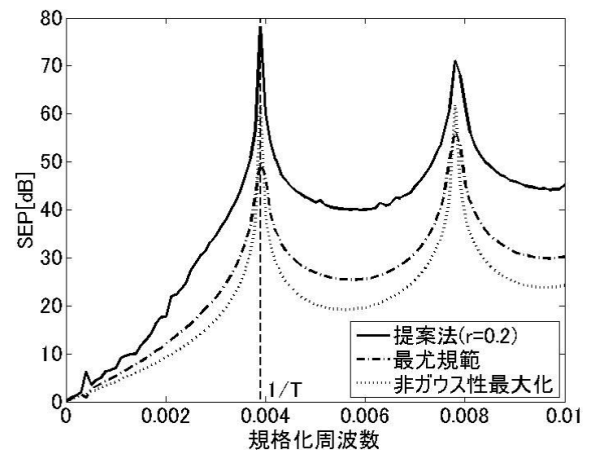


図 1 各手法での各周波数差に対する分離性能比較