

独立成分分析を用いた素子間相互結合および素子特性の校正手法

Mutual Coupling and Gain and Phase Calibration Technique Using Independent Component Analysis

島田裕平†
Yuhei Shimada

山田寛喜††
Hiroyoshi Yamada

山口芳雄††
Yoshio Yamaguchi

† 新潟大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science & Technology, Niigata University

†† 新潟大学工学部 情報工学科
Faculty of Engineering, Niigata University

1 まえがき

実際のアレー環境で高分解能到来方向推定を実現するためには、素子間相互結合による誤差、および素子の位置誤差や製作誤差などの素子特性による誤差の影響の校正が不可欠である。本稿では、独立成分分析による分離信号と既知波源からの外部参照波を用いて、これら素子間相互結合と素子特性誤差の校正を行う手法を提案する。

2 提案するアレー校正手法

校正を行う L 素子の等間隔リニアアレーにおいて、DOA 未知である K 波の混合からなる観測データが、 M 個取得可能であるとする。簡単のため、 $M \times K$ 個の到来波 DOA は全て異なるとする。このとき、 $m(m = 1, 2, \dots, M)$ 番目の観測データは、

$$x^{(m)}(t) = C\Gamma A^{(m)}s^{(m)}(t) + n^{(m)}(t) \quad (1)$$

と表現される。ここで、 C は素子間相互結合行列、 Γ は素子特性のばらつきを表す対角行列、 $A^{(m)}$ はモード行列、 $s^{(m)}(t)$ は送信信号ベクトル、 $n^{(m)}(t)$ は雑音ベクトルである。この観測データ $x^{(m)}(t)$ に対して、独立成分分析 [1] を行うことで、 $\tilde{A}_r^{(m)} \propto C\Gamma A^{(m)}$ という関係を満足する参照データ $\tilde{A}_r^{(m)}$ を計算できる。この操作を M 個の観測データ全てに適用すると、 $N(= M \times K)$ 個の参照データ列からなる行列 \tilde{A}_r を取得できる。校正行列推定のための評価関数 J_c は

$$J_c = \|C\Gamma A - \tilde{A}_r\|^2 \quad (2)$$

と定義される。ここで、 $\|\cdot\|$ はユークリッドノルムである。この評価関数 J_c を最小化することで素子間相互結合行列の推定値 \hat{C} を推定する。この際、素子間相互結合行列が Toeplitz 行列で近似できることを利用している [2]。次に、素子特性の校正は 1 波の既知波源からの外部参照データを用いて行う。素子特性の推定式は

$$\delta = \text{diag}\{a(\theta_r)\}^H \hat{C}^{-1} \tilde{e}_r \quad (3)$$

となる。ここで、 δ は Γ の対角要素ベクトル、 θ_r は既知波源の DOA、 \tilde{e}_r は既知波源からの外部参照データである。推定式は未知パラメータを含んでいるので、素子間相互結合と素子特性を反復計算を用いて推定する。

3 計算機シミュレーションによる評価

計算機シミュレーションにおけるシミュレーション諸元を表 1 に示す。校正用の観測信号数を 4 とし、1 つの観測データに含まれる到来波数を 2 とした。従って参照データ数は 8 となる。また、既知波源の DOA は 90° (エンドファイヤ方向) とした。ここで、観測データに付加

する素子間相互結合行列はモーメント法により計算し、 l 番目の素子に与える素子特性誤差 g_l は $g_l = 0.2\alpha_l e^{j20^\circ\beta_l}$ から計算した。ここで α_l 及び β_l は一様乱数である。提案手法を用いて、素子間相互結合行列および素子特性を推定し、MUSIC 法により到来波 1 波の観測データの DOA 推定を行った。100 回の試行で推定された DOA の RMSE を -60° から 60° までの 5° 間隔でプロットした図を図 1 に示す。この図より良好な校正が行えていることが確認できる。次にある 1 回の試行の MUSIC スペクトラムを図 2 に示す。各 MUSIC スペクトラムのピークが鋭く回復していることが分かる。

4 まとめ

本稿では、提案手法を用いることで素子間相互結合及び素子特性の校正が可能であることを示した。

参考文献

- [1] A. Hyvärinen, E. Oja, "A fast fixed-point algorithm for independent component analysis." *Neural Comput.*, vol.9, no.7. pp.1483-1492, 1997.
- [2] 島田裕平, 山田寛喜, 山口芳雄, "独立成分分析による分離信号を用いたアレー校正手法," 信学技報, AP2007-73, pp.175-180, July 2007.

表 1 シミュレーション諸元

| | |
|-----------|---------------|
| 素子形状 | 4 素子等間隔リニアアレー |
| アンテナ素子 | 半波長ダイポール |
| 素子間隔 | 0.5 λ |
| スナップショット数 | 5000 |
| SNR | 20[dB] |

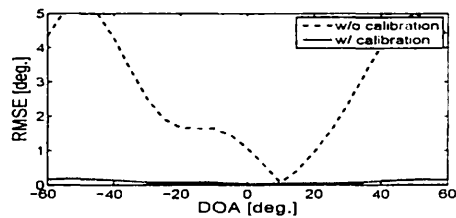


図 1 DOA 推定結果の RMSE

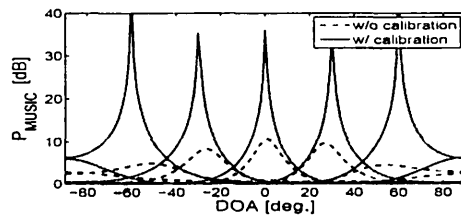


図 2 MUSIC スペクトラムの比較