

# スーパーレゾリューションアレーの ブラインド校正手法に関する一考察

CONSIDERATION ON A BLIND CALIBRATION TECHNIQUE FOR SUPERRESOLUTION ARRAY

山田寛喜  
Hiroyoshi Yamada

新井隆宏  
Takahiro Arai

山口芳雄  
Yoshio Yamaguchi

新潟大学 工学部  
Faculty of Engineering, Niigata University

**まえがき** MUSIC法などのスーパーレゾリューション法を用いた波源の到来方向推定技術は移動体通信、レーダなど様々な分野に応用されている。これらスーパーレゾリューションアレー (SRA) の性能を発揮するためには、正確なアレー校正が不可欠である [1]。特に屋内・市街地伝搬推定では、探査角度範囲が広いため、素子間相互結合の補正が重要となる。筆者らは既知の波源を用いたアレー校正手法を提案している。この手法は、アレーマニフォールド自体を実測する校正法に比べ、少ない測定データ、校正パラメータでの校正を可能とする手法である [2]。本稿では、到来方向が未知のデータセットを用いたアレー校正の可能性について考察する。

**SRA ブラインド校正手法** 簡単のため、入射波は1波として議論する。この場合、アレー受信データベクトルは次の形で表現される。

$$r_i = C\Gamma a(\theta_i)s_i + n_i \quad (1)$$

ここで、 $C, \Gamma$  は素子間相互結合行列、利得・位相誤差行列、 $a(\theta_i), s_i$  は  $\theta_i$  方向の入射波のモードベクトルおよび複素振幅、 $n_i$  は雑音である。信号部分空間法の概念を用いると、雑音部分空間 ( $e_j$ ) と信号部分空間が直交することにより、以下の関係式が得られる。

$$e_j^{(i)H} (C\Gamma a(\theta_i)) = 0 \quad (2)$$

ここで  $H$  は複素共役転置である。したがって、到来方向 (DOA) が既知ならば、到来方向 ( $\theta_i$ ) の異なる複数のデータセットにより、 $C, \Gamma$  に含まれる未知パラメータが推定可能となる [2]。DOA は未知であっても、その初期推定値 ( $\hat{\theta}_i$ ) の誤差が比較的小さな場合であれば、反復計算により、角度推定および校正パラメータの推定精度の改善が可能であり、ブラインド校正が実現される。

**数値計算結果** ここでは、4素子円アレー (素子間隔  $\lambda/(2\sqrt{2})$ ) の場合の数値計算結果を示す。設定した  $C, \Gamma$  に含まれる誤差 (各パラメータの定義は [2] 参照) を表1に示す。校正用データは1波のみを含む8つのデータセットとし、MUSIC法を用いて初期推定を行い、得られた到来方向を用いて式 (2) に基づく方程式を構築した。初期推定結果を図1 (点線) に示す。真の到来方向はそれぞれ  $-175^\circ, -130^\circ, -85^\circ, -40^\circ, 5^\circ, 50^\circ, 95^\circ, 140^\circ$  である。初期推定においては、推定された DOA に最大で  $4^\circ$  程度の誤差があり、ピークも急峻となっていない。反復計

算毎の真の誤差行列 ( $CT$ ) と推定された誤差行列の差のフロベニウスノルムを図2に示す。同図より反復計算毎に誤差は単調に減少し、この例では25回程度の反復推定で、誤差はほぼ0に収束していることが分かる。図1の実線が収束時の校正用データの MUSIC 推定波形である。DOA 推定誤差はほぼ  $0.5^\circ$  以下となり、急峻なピーク特性が得られ、良好に校正されていることが分かる。

**まとめ** 本稿では、到来方向が未知のデータセットを用いた SRA の校正手法に関して考察し、素子のばらつきが比較的少なく、データセットに含まれる個々の入射波の到来角が探査範囲内に広く分散している場合には、比較的良好的な校正が可能となることを明らかにした。

**謝辞** 本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金奨励研究 (A) 13750335 により行われている。

**参考文献** [1] B. Friedlander, IEEE Trans. AP, vol.39, no.3, pp.273-284, Mar.1991. [2] 新井ほか, 信学技報, vol.AP2001-152, pp.53-60, 2001年11月。

表1 誤差モデル

$c_0$	$1.0 + j0.0$	$\gamma_1$	$1.0 + j0.0$
$c_1$	$-0.1 - j0.1$	$\gamma_2$	$1.1 + j0.1$
$c_2$	$-0.01 - j0.01$	$\gamma_3$	$0.9 - j0.1$
		$\gamma_4$	$1.0 + j0.0$

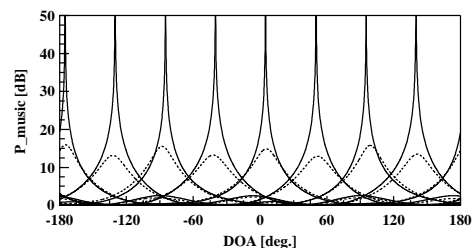


図1 校正前および校正後の MUSIC 推定波形

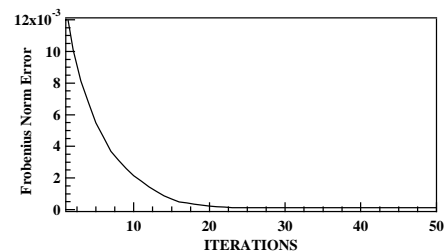


図2 反復推定時の校正行列の誤差収束の様子