

E5 映像法を用いる反射板付ダイポールアレーの校正について

原 六蔵

山田 寛喜

山口 芳雄

新潟大学 工学部 情報工学科

1. まえがき

電波到来方向推定において、MUSIC法 [1] などスーパーレゾリューション法の適用が望まれる。しかし、高分解能な手法であるため、測定システム系の誤差による推定精度の低下が顕著に表れる。そこで、システム校正が必要となる。アンテナがシンプルにモデル化できる状況ならば、高精度な校正が可能 [2] であるが、特に、アンテナ周囲の物体 (計測装置など) が影響する場合の校正は困難となる。

本稿では、反射板付ダイポールアレーの校正問題を考える。無限に大きな反射板の場合は従来の外部校正信号を用いた校正法は良好に機能するが、有限になると特性が劣化する。しかしながら (受信時の校正に関しては) 素子の映像を考慮した校正を施すことで改善できることを、数値計算および実験結果で示す。

2. 反射板付ダイポールアレー

反射板付ダイポールでは反射板とアンテナ素子との間隔 d_z が $\lambda/4$ である場合が多い。これは前後比 (front-to-back ratio) を向上させる為である。反射板付ダイポールアレーにおいても同様であり、ブロードサイド方向への利得を高める。ここでは、入射波の方位角 θ を推定する。素子数は L であり、入射波の周波数 f 、素子間隔 d_x 、伝搬係数 c とする。このアレーにおけるモードベクトルは次式となる。

$$a(\theta) = [a_1(\theta), \dots, a_L(\theta)]^T \quad (1)$$

$$a_l(\theta) = \left[j2\pi \frac{f}{c} \{ (l-1)d_x \sin \theta + d_z \cos \theta \} \right] \quad (2)$$

ここで、 T は転置である。反射板が無限地板である場合、映像法により対称な位置にアンテナの映像が存在する状況と等価である。よって、ベクトル a の映像をベクトル a' とすると、受信データベクトル r は以下となる。

$$r = \sum_{k=1}^d s_k \{ a(\theta_k) + a'(\theta_k) \} + n \quad (3)$$

$$a'(\theta) = [a'_1(\theta), \dots, a'_L(\theta)]^T \quad (4)$$

$$a'_l(\theta) = \left[j2\pi \frac{f}{c} \{ (l-1)d_x \sin \theta - d_z \cos \theta \} \right] \quad (5)$$

入射波数 d であり、 θ_k, s_k は、それぞれ k 番目の入射波の到来方向、複素振幅である。 n は雑音である。反射板が有限である場合は近似的に式 (3) が成立する。

しかし、反射板が有限であることや素子間相互結合などの影響 C により、実際の受信データベクトル \hat{r} は

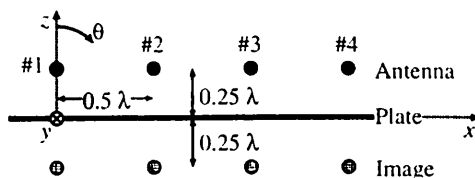


図1. 素子および反射板配置

誤差を持つ。

$$\hat{r} = \sum_{k=1}^d s_k C \{ a(\theta_k) + a'(\theta_k) \} + n \quad (6)$$

3. 校正手法

誤差行列 C を得ることで校正可能であるが、実測において反射板と素子間相互結合などの影響を同時に考慮することは難しい。しかし、反射板が無限地板の場合、反射板が存在しないアンテナ素子だけのシンプルなモデルに置き換え可能である。有限長の地板である場合にも、これは近似的に成立する。よって、素子間相互結合など影響のみを校正することと等価である。このような場合、校正行列 W は複数の既知波源を用いて次式で得られる。

$$W = BA^H(AA^H)^{-1} \quad (7)$$

$$A = \begin{bmatrix} a(\theta^{(1)}) & \dots & a(\theta^{(M)}) \\ a'(\theta^{(1)}) & \dots & a'(\theta^{(M)}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$B = [e_s^{(1)} \dots e_s^{(M)}] \quad (9)$$

ここで、 H は複素共役転置、 B は校正用受信データベクトル r (素子数 L) の信号固有ベクトル e_s を複数 (M 波) 並べた $L \times M$ 行列である。 A は受信データに対応するモードベクトル (影像素子も含む、要素数 $2L$) で構成された $2L \times M$ 行列である。但し、校正用受信データ数 M は素子数 L の2倍より多く、信号固有ベクトルとモードベクトルは同じ素子で規格化される。得られる W は $L \times 2L$ 行列であり、映像を用いない既存の外部参照信号を用いた校正手法 [2] の校正行列 ($L \times L$) より大きい。

以上により誤差行列 C による影響と近似的に等価な校正行列 W を得る。

4. 数値計算および実験

ここでは、NEC2[3]を用いた数値計算結果を示す。図1のような4素子半波長等間隔リニアアレーを考

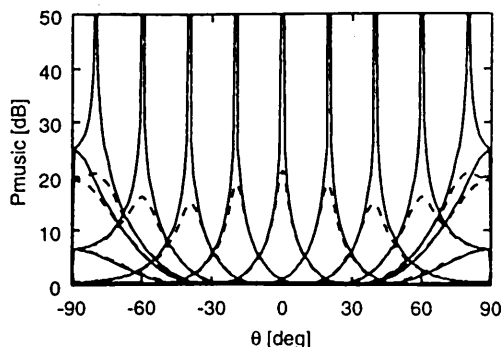


図2. MUSIC スペクトル1(無限地板シミュレーション, 提案校正手法・既存校正手法(実線), 生データ(破線))

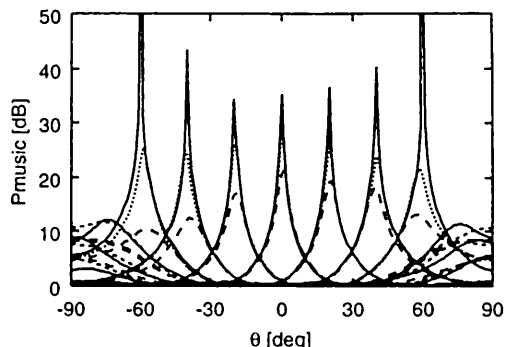


図4. MUSIC スペクトル3(実験結果, 提案校正手法(実線), 既存校正手法(点線), 生データ(破線))

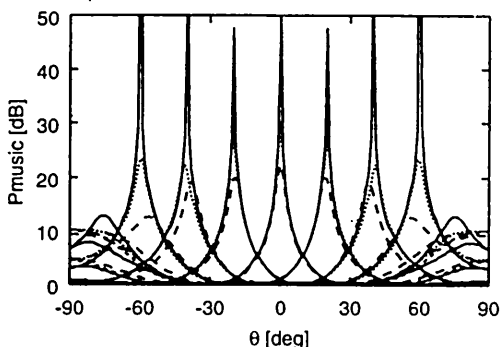


図3. MUSIC スペクトル2(有限地板シミュレーション, 提案校正手法(実線), 既存校正手法(点線), 生データ(破線))

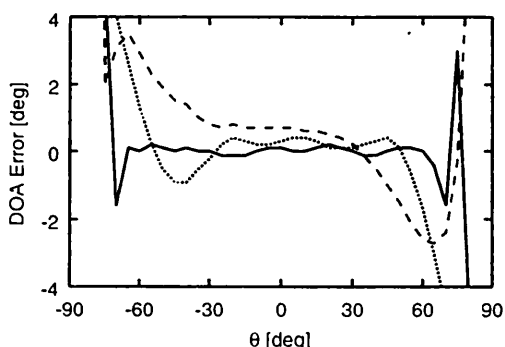


図5. 推定角度誤差(実験結果, 提案校正手法(実線), 既存校正手法(点線), 生データ(破線))

る。半波長ダイポール素子のワイヤの向きは y 軸方向で、素子は x 軸に配列している。アレー軸から $1/4$ 波長離れて反射板が存在する。

反射板が無限地板の場合、MUSIC 法の推定結果は図2となる。提案校正手法・既存校正手法ともに完全な校正が可能である。但し、図中の入射角度は -80° から 80° まで 20° 間隔であり、校正用波源の入射角度は $-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ, -10^\circ, 10^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ とした。

x 軸方向に2波長(アレー長に両端 $1/4$ 波長付加), y 軸方向に1波長(素子長に両端 $1/4$ 波長付加)の反射板の場合、推定結果は図3となる。提案手法は完全な校正でないが、既存の校正手法より精度が良い。また、既知波源として用いた入射角度付近で高精度な校正が実現されていることが分かる。

同様に、実験を行った結果が図4であり、推定角度誤差を図5に示す。提案手法の有効性が実証された。

5. まとめ

反射板を有するダイポールアレーについて、映像法を用いた校正手法を示した。数値解析および実験によ

り、反射板が有限地板であっても既存校正手法より優れた校正効果が得られることを明らかにした。

謝辞

本研究で使用した測定用具は阿達透技官の協力によって作成された。ここに深く感謝する。また、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金若手研究(B) 15760257 によるものである。

参考文献

- [1] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol.AP-34, no.3, pp.276-280, March 1986.
- [2] 原 六蔵, 山田寛喜, 山口芳雄, "アンテナアレイ校正における校正用データセット数の軽減について," 信学技報, vol. AP2002-40, pp.1-6, July 2002.
- [3] NEC WIN Professional TM, "Antenna Analysis Software Version 1.1," Nittany Scientific Inc., California, 1997.