

B-1-244

# マルチパス環境下でのアレー校正に関する一考察

## ON ARRAY CALIBRATION IN THE MULTIPATH ENVIRONMENT

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 and Technology, Niigata University

### 1 まえがき

アレーアンテナを用いた高分解能到來方向推定法において、手法本来の高分解能特性を実現するには、素子間相互結合、個々の素子の利得、位相誤差など、様々なシステム誤差の補正（校正）が必要となる[1]。アレー校正に関しては、到來方向が未知の波を用いたブラインド校正手法の検討も進められているが、未だ確立された手法は存在せず、安定した性能を実現する精度の良い校正を実現するためには、到來方向が既知の参照波を用いた校正を行うことが望ましいのが現状である。

参照波を用いた校正においても、電波暗室等の理想的な環境（既知1波到来）ではなく、実環境での校正が可能となることが望ましい。その場合、マルチパス波の存在が問題となるが、マルチパス環境における校正問題はほとんど検討されていない[2]。マルチパス波が存在する場合、参照波成分の信号部分空間はの次元は1となり、個々の素波の到來方向のみならず、複素振幅比に対する依存性が生じる。マルチパス環境下での参照波を用いた校正では、個々の素波の到來方向が事前に予測できる場合も多い。本稿では、マルチパス波の到來方向が既知であれば、素波の複素振幅比が未知であっても校正可能であることを示す。

### 2 マルチパス信号モデル

$N$  素子のアレーアンテナを考える。このアレーアンテナの受信信号は一般に次式で表現できる。

$$\mathbf{r}(t) = \sum_{k=1}^K \tilde{\mathbf{a}}(\theta_k) s_k(t) + \mathbf{n}(t) \quad (1)$$

ここで  $K$  は素波数、 $s_k(t)$  は素波の複素振幅、 $\theta_k$  は到來方向、 $\mathbf{n}(t)$  は雑音ベクトルである。さらに  $\tilde{\mathbf{a}}(\theta)$  は誤差のあるモードベクトルであり、誤差のないモードベクトル  $\mathbf{a}(\theta)$  と  $\tilde{\mathbf{a}}(\theta) = \mathbf{C}\mathbf{a}(\theta)$  の関係を有する。なお  $\mathbf{C}$  はアレー誤差行列であり、本稿では角度依存性を持たないものと仮定する。参照波を用いた校正手法では、既知信号を含んだ校正データの信号成分（信号部分空間）に着目する。1波のみ含まれる場合では、信号部分空間（信号固有ベクトル  $e_1$ ）は、 $e_1 \propto \mathbf{C}\mathbf{a}(\theta_1)$  の関係が成立する。しかしながらコヒーレントマルチパス波が含まれる場合には、

$$\mathbf{e}_1 \propto \mathbf{C}\{\mathbf{a}(\theta_1) + \rho_2\mathbf{a}(\theta_2) + \cdots + \rho_K\mathbf{a}(\theta_K)\} \quad (2)$$

となり、素波方向のみならず複素振幅比が既知でなければ、信号成分を校正用信号として用いることが困難であ

ることが分かる。本稿では次節で複素振幅比に依存しない校正手法を提案する。

### 3 マルチパス環境でのアレー校正手法

マルチパス環境では、参照波がコヒーレントとなるため、信号部分空間は1次元に縮退している。今、素波の到來方向が既知であれば、その（縮退の解けた）誤差のない信号部分空間はモード行列を  $\mathbf{A}$  として、 $\mathbf{A}(\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H$  で導かれ、対応する雑音部分空間は、

$$\mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H = \mathbf{I} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \quad (3)$$

と導出される。ここで  $\mathbf{E}_N$  は雑音固有値を列とする行列であり、 $H$  は複素共役転置である。式(2)と式(3)より、 $\mathbf{C}^{-1} = \mathbf{G}$  として、以下の関係式が成立することが分かる。

$$\mathbf{E}_N^H \mathbf{G} e_1 = \mathbf{0} \quad (4)$$

これは文献[1], [3]に示した誤差行列導出問題と同型である。従って、いくつかの校正データセットを準備することにより、上式の  $\mathbf{G}$ 、すなわち誤差行列  $\mathbf{C}$  が導出される。

### 4 まとめ

本稿では、素波到来方向が既知なマルチパス環境下でのアレー校正手法に関して、理論的な考察を行った。提案手法では、素波到来方向が既知である必要はあるものの、それらの素波の複素振幅に関する情報は不要となる点に特徴がある。本手法の数値計算結果等による定量的な解析は当日発表の予定である。

謝辞 本研究はテレコムエンジニアリングセンター研究助成金により行われたものである。

### 参考文献

- [1] 山田寛喜，“高分解能到來方向推定のためのアレー キャリブレーション手法”，信学論B, vol.J92-B, no.9, pp.1308–1321, Sept. 2009.
- [2] A. Leshem and M. Wax, “Array calibration in the presence of multipath,” IEEE Trans. Signal Process., vol.48, no.1, pp.53–59, Jan. 2000.
- [3] 内藤, 山田, 山口, “DOA 推定のための仮想素子を用いたアレー校正手法”, 信学論 B, vol.J92-B, no.1, pp.216–223, Jan. 2009.