

B-1-236

マルチパス環境下におけるアレー校正精度の評価

Evaluation of Array Calibration Accuracy in the Multipath Environment

酒井宏史[†]
Hiroshi Sakai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

1 まえがき

アレーの到来方向推定における校正は、実環境において行われることが望ましい。しかしながら実環境では、既知波源を用意した場合であってもマルチパス波が生じることが多い。マルチパス波が存在する場合、素波の到来方向及び複素振幅比に対する依存性が生じる。マルチパス波の素波の到来方向のみが既知であればよく、複素振幅比を考慮する必要がない校正手法（提案法）が文献[1]より提案されている。本稿では、既存手法において近似的に推定したマルチパスモードベクトルを用いる手法（本稿では従来法と呼ぶ）と提案法を用いた推定精度について定量的な評価を行う。

2 受信信号モデルと校正手法

素子数 L のリニアアレーアンテナを考える。このアレーアンテナに K 個の平面波が到来するとき、複素振幅、到来方向をそれぞれ s_k , θ_k とすると、受信信号 $\mathbf{x}(t)$ は以下のように表される。

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

ここで、 \mathbf{C} は $L \times L$ の誤差行列であり、 \mathbf{A} は $L \times K$ のモード行列、 $\mathbf{n}(t)$ は雑音ベクトルである。

校正データの信号成分に着目すると、コヒーレントマルチパス波が含まれる場合の信号部分空間は以下の関係式となる。

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

ここで、 ρ_k は複素振幅比であり、校正行列を推定するためには素波の到来方向と複素振幅比が既知でなければならない。このとき、信号部分空間と雑音部分空間の直交性を用いると、

$$\tilde{\mathbf{E}}_N^H \mathbf{C} \hat{\mathbf{b}} = \mathbf{0} \quad (3)$$

となる。ここで、 $\tilde{\mathbf{E}}_N$ は校正用データから得られた雑音部分空間であり、 $\tilde{\mathbf{H}}$ は複素共役転置である。本稿では、 $\hat{\mathbf{b}}$ の推定が問題であるが、式(2)より $\hat{\rho} = (\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \tilde{\mathbf{e}}_1$ として得られた近似複素振幅比を用いて ρ_k を決定している。言うまでもなく \mathbf{C} を含んでいるため、誤差を含んでいる。この校正手法を従来法とした。 \mathbf{C} の導出については文献[1]を参照して頂きたい。

一方、提案法は素波の複素振幅比が未知であっても校正可能である。素波の到来方向が既知であれば、誤差のない信号部分空間は $\mathbf{A}(\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H$ で導かれ、対応する雑音部分空間は次式となる。

$$\mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H = \mathbf{I} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \quad (4)$$

式(2)と式(4)より以下の関係式が成立する。

$$\mathbf{E}_N^H \mathbf{C}^{-1} \tilde{\mathbf{e}}_1 = \mathbf{0} \quad (5)$$

\mathbf{C} の導出などの詳細は文献[1]を参照されたい。

3 計算機シミュレーションによる評価

NEC2を用いて従来法と提案法の推定精度を評価する。アレー形状は $\lambda/2$ 間隔の4素子ULAとする。校正データは全て2波のマルチパスデータであるものとし、1波目に対し、2波目の電力レベルを -10dB , -20dB とした。また、データセットの到来方向の組み合わせはランダムで決定し、2波目に角度誤差を加えて校正を施し、RMSEを評価する。図1(a), (b)にそれぞれ電力レベル差を -20dB , -10dB とした場合の平均RMSE(方位角 $-60^\circ \sim +60^\circ$ 間で 10° 間隔のRMSE)の結果を示す。同図の“ $\pm \Delta \theta^\circ$ error”は、2波目(マルチパス)の角度設定誤差(ガウス分布)の 3σ の値である。図1(a), (b)の結果より提案法はマルチパス波の角度誤差が $\pm 5^\circ$ 以下であれば、校正精度が改善することが分かる。

4 まとめ

本稿では、マルチパス環境下におけるアレー校正手法について従来法と比較し、定量的な評価を行った。従来法は角度誤差に関わらず、推定精度が改善しないが、提案法は推定精度の改善が可能となることを示した。

謝辞

本研究は財団法人テレコムエンジニアリングセンター研究助成金により実施されたものである。

参考文献

- [1] H. Yamada, Y. Yamaguchi, "Array calibration by using orthogonal property between signal and noise subspace," IEICE Technical Report, vol. AP2010-21, no. 5, May 2010.

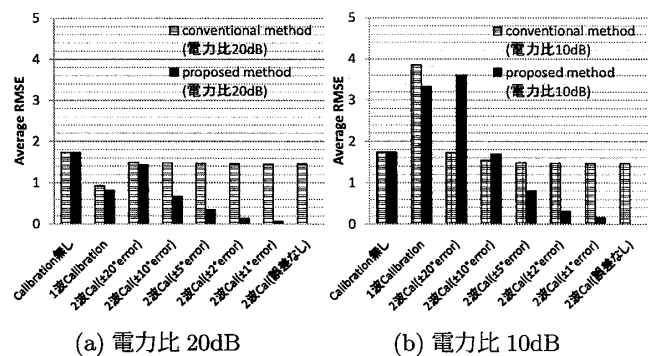


図1 従来法と提案法の平均RMSE