

E 6 円アレーを用いた電波到来方向推定の実験的検証

新井 隆宏 千葉 建治郎 山田 寛喜 山口 芳雄
 新潟大学工学部

1. まえがき

現在、様々な分野において電波が盛んに利用されており、MUSIC法 (Multiple Signal Classification) [1] などのスーパーレゾリューション法の通信分野への応用が期待されている。そのため、個々の多重波の到来方向を高精度に分離検出することが重要である。また、通信応用においては、少ないアレー素子で1.2波を検出するような応用が重要となる。しかしながら、実際問題を考慮した場合、アレーアンテナ等に存在する誤差要因の影響により、到来方向推定誤差が生じる。したがって、高分解能性を実現するには、アレーアンテナの較正が不可欠である。

本稿では、円アレーを用いた電波到来方向推定の実験を電波暗室内で行い、そのデータ解析および推定精度の検証結果を報告する。さらに、アレーアンテナの素子の利得および位相の誤差に着目したアレー較正手法を適用した場合の結果を示し、それに関して検討している。

2. 問題の定式化

リニアアレーによるビーム形成では180°の範囲しかカバーができないが、円周上にアレー素子を配置した円アレーは360°のアジマス方向をカバーすることができる。したがって室内伝搬推定などに適している。以下に、円アレーの定式化を行う。

N 素子の円アレーを構成する。 $x-y$ 平面において、各アレー素子位置の座標 (x_l, y_l) ($l = 1, 2, \dots, N$) に d 波の電波が入射している場合、各素子における受信データは次式で表される。

$$r(x_l, y_l) = \sum_{i=1}^d \alpha_l e^{j\phi_l} s_i e^{j\frac{2\pi}{\lambda}(x_l \sin \theta_i + y_l \cos \theta_i)} + n(x_l, y_l) \quad (1)$$

ここで、 s_i 、 θ_i は、それぞれ i 番目の信号の複素振幅、方位角を表し、 λ は波長であり、 $n(x_l, y_l)$ は、平均0、分散 σ^2 の雑音項である。また、 α_l 、 ϕ_l は l 番目の素子の利得および位相誤差を表すパラメータであり、誤差のない場合は $\alpha_l = 1$ 、 $\phi_l = 0$ である。ベクトル・行列表示を用いると、式(1)による N 個の素子データは以下の形式で表すことができる。

$$r = [r(x_1, y_1), r(x_2, y_2), \dots, r(x_N, y_N)]^T = \Gamma A s + n \quad (2a)$$

$$s = [s_1, s_2, \dots, s_d]^T \quad (2b)$$

$$n = [n(x_1, y_1), n(x_2, y_2), \dots, n(x_N, y_N)]^T \quad (2c)$$

$$\Gamma = \text{diag}\{\alpha_1 e^{j\phi_1}, \dots, \alpha_N e^{j\phi_N}\} \quad (2d)$$

ここで、 A は、 θ の情報をもつ行列である。また、 T は転置である。

3. 実験

次に、電波暗室内で行った実験データの解析結果を示す。表1に測定パラメータを示す。また、図1にアレー配置図を、図2に実験状況図を、表2および図3に送信位置が1~5の時の角度変化を示す。なお、2波入射は互いに相関の無いインコヒーレントな波である。

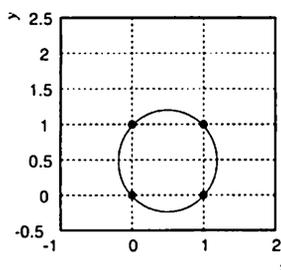


図1. アレー配置図

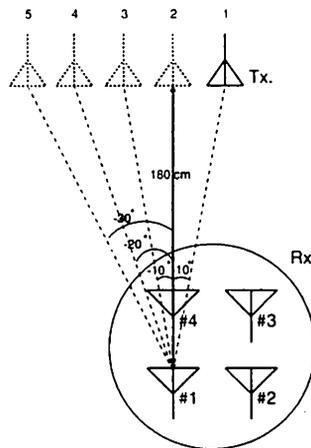


図2. 実験状況図

表1. 測定パラメータ

中心周波数	2.4 [GHz]
掃引周波数幅	0.2 [GHz]
測定ポイント	101
アレー素子数	4
素子間隔	4.24 [cm]

表 2. 1 波入射解析結果

送信位置	理論値	推定結果	誤差
1	10.0°	5.8°	-4.2°
2	0.0°	-1.6°	-1.6°
3	-10.0°	-19.3°	-9.3°
4	-20.0°	-26.4°	-6.4°
5	-30.0°	-33.5°	-3.5°
-	-150.0°	-148.3°	1.7°
-	-160.0°	-159.1°	0.9°
-	-170.0°	-167.0°	3.0°
-	-180.0°	-176.2°	3.8°

2 波入射に関しては、理論値が -160.0° , 30.0° で、MUSIC 法を適用させたところ推定結果は -159.0° , 24.7° だった。この 2 波は十分に分離されていることが分かる。

4. 円アレー較正

アレーアンテナに、利得や位相などの誤差が存在する場合、DOA(Direction Of Arrival) 誤差が生じる。そこで、素子の利得と位相の誤差に着目した Friedlander 等 [2] が提案した手法に対して、Soon 等 [3] が考案した改良手法を取り入れたアレー較正手法を用いて、どのような改善効果が現れるか、検討を行う。この Friedlander 等の手法は、雑音部分空間に着目した最小化問題であり、一方、Soon 等の手法は信号部分空間に着目した最大化問題である。これらの 2 手法は本質的には違いはなく、それらは基本的に等価である。したがって、逆行列演算のような不安定な計算が少ない Soon 等の手法をここで適用することにする。なお、今回用いる手法は、無相関な 2 波を対象としている。

以下に、理論値が -160.0° , 30.0° である、前節の実験で得られた無相関な 2 波を用い解析を行った。図 4 に DOA 誤差を示し、図 5 に実験で得られた測定値、アレー較正手法を適用させた際に得られた値の比較の様子を示す。なお、アレー較正手法適用の際に、反復計算回数を 35 回とした。これらの図から分かるように、十分な素子数を満足しない場合、今回適用した手法では

十分満足のいくアレー較正が行えないことが分かった。

5. まとめ

円アレーを作成し、電波暗室内で実験を行った。その結果、角度によって真の DOA との誤差が大小するものもあるが、送信アンテナを操作する毎に角度変化を確認することができた。また、円アレー較正手法 [2] [3] に適用し、実験結果と比較したが改善効果は現れなかった。これらの手法を適用させてアレー較正を行う際には、十分な素子数が必要であると考えられる。

なお、この研究の一部は文部科学省科研費による。

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] B. Friedlander and A. J. Weiss, "Direction finding in the presence of mutual coupling," *IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing*, vol.39, no.3, pp.273-284, Mar. 1991.
- [3] V. C. Soon, L. Tong, Y. F. Huang, and R. Liu "A subspace method for estimating sensor gains and phases," *IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing*, vol.42, no.4, pp.973-976, Apr. 1994.

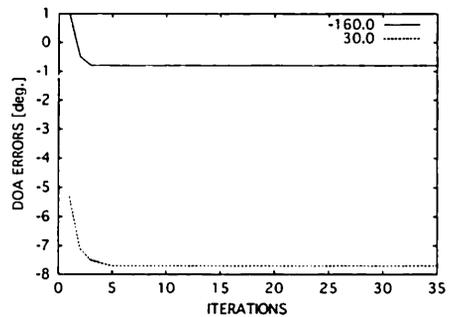


図 4. DOA 誤差

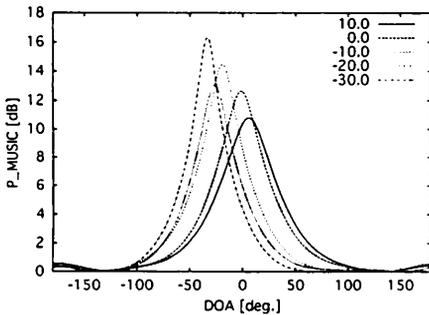


図 3. 円アレー配置 (4 素子)

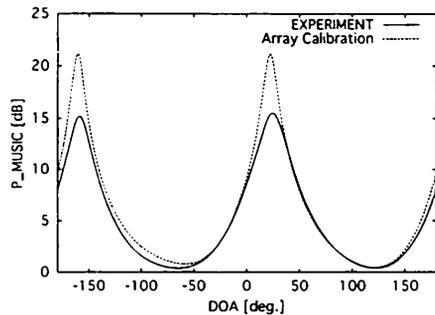


図 5. 測定値とアレー較正後の比較