

B-1-68 等価ウェイト行列推定によるリアクタンズドメイン MUSIC 法

Reactance-Domain MUSIC Method with Calibrated Equivalent Weight Matrix

平田 明史 エディ タユフェール 山田 寛喜 大平 孝
 Akifumi HIRATA Eddy TAILLEFER Hiroyoshi YAMADA Takashi OHIRA

ATR 適応コミュニケーション研究所
 ATR Adaptive Communications Research Laboratories

1. まえがき

エスパアンテナは出力が1系統のみのアダプティブアレーであり、低コスト・低消費電力であるために無線端末用アンテナとして期待されている。近年、リアクタンズドメイン信号処理[1]によりエスパアンテナを用いた高分解能到来方向推定が可能であることが報告されている[2]。本報告では『等価ウェイト行列』を推定する方法でキャリブレーション(校正)を行い、鋭い MUSIC スペクトラムが得られ角度推定精度が向上することを実験により示す。

2. リアクタンズドメイン MUSIC 到来方向推定

リアクタンズドメイン MUSIC 法は、指向性パターンを回転し受信された複数の信号系列から相関行列を生成することによって MUSIC スペクトラムを得る方法である。

到来波を1波のみとすると、表1の m 番目のパターン ($m=0,1,\dots,6$)での受信信号は $y_m(t) = \mathbf{w}_m^T \mathbf{a}(\phi_a) u(t) + n(t)$ となる。 \mathbf{w}_m , $\mathbf{a}(\phi_a)$ 及び $u(t)$ はそれぞれ等価ウェイトベクトル、到来角 ϕ_a におけるステアリングベクトル及び到来信号である。 $n(t)$ は熱雑音であり、 T は転置を表す。

3. キャリブレーション方法 (信号部分空間アプローチ)

等価ウェイトベクトルを行成分とする『等価ウェイト行列』を $\mathbf{W} = [\mathbf{w}_0 \ \mathbf{w}_1 \ \dots \ \mathbf{w}_6]^T$ と定義し、受信信号系列を $\mathbf{y}(t) = [y_0(t) \ y_1(t) \ \dots \ y_6(t)]^T$ とおくと、到来波は1波なので、相関行列と固有値 λ 及び固有ベクトル \mathbf{e} の関係から

$$\mathbf{R}_{yy} = E[\mathbf{y}(t)\mathbf{y}^H(t)] = \sum_{i=1}^7 \lambda_i \mathbf{e}_i \mathbf{e}_i^H \Rightarrow \mathbf{W}\mathbf{a}(\phi_a) \propto \mathbf{e}_1$$

が導かれる。 $E[\cdot]$ はエルゴード性を仮定した時間平均、 H はエルミート転置を表す。 \mathbf{e}_1 は信号部分空間を張る第1固有ベクトルである。 n 方位 ($n=1, \dots, N$) からの受信信号にて $\mathbf{e}_1^{(n)}$ を求め $[\mathbf{e}_1^{(1)} \ \mathbf{e}_1^{(2)} \ \dots \ \mathbf{e}_1^{(N)}] = \mathbf{W}[\mathbf{a}(\phi_1) \ \mathbf{a}(\phi_2) \ \dots \ \mathbf{a}(\phi_N)]$ の関係から等価ウェイト行列 \mathbf{W} を推定する。

$\mathbf{E}_N \equiv [\mathbf{e}_2 \ \mathbf{e}_3 \ \dots \ \mathbf{e}_7]$ として、MUSIC スペクトラムは

$$P_{MUSIC}(\phi) = \frac{\mathbf{a}^H(\phi) \mathbf{W}^H \mathbf{W} \mathbf{a}(\phi)}{\mathbf{a}^H(\phi) \mathbf{W}^H \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H \mathbf{W} \mathbf{a}(\phi)}$$

から求められる。

4. 到来方向推定実験結果

1波の周期信号系列が到来する方位角を推定する実験を電波暗室内において行った。校正では 0° から 30° おきに12方位からの到来信号 ($N=12$) を用いて \mathbf{W} を推定した。図3に「校正あり」及び「校正なし」による MUSIC スペクトラムを示す。「校正なし」とは計算にて求めた \mathbf{W} を用いた場合である。ランダムに選択した9方位角でそれぞれ到来方向が推定できている様子が分かる。方向推定誤差は到来角に依存せず 3° 程度以内となる結果を得た。実験において SNR は 20dB である。

5. まとめ

エスパアンテナのリアクタンズドメイン MUSIC 法において等価ウェイト行列を推定するキャリブレーションを行い、鋭いスペクトラム及び高いピークが得られることを実験により示した。結果として、 3° 以下程度の誤差で到来方向推定が可能であることを確認した。

謝辞 日頃ご指導ご鞭撻いただき ATR 適応コミュニケーション研究所 小宮山牧児所長に深謝する。また、本研究は通信・放送機構の研究委託「自律分散型無線アドホックネットワークの研究開発」により実施したものである。

表1 パターン形成時のバラクタ値 [単位: Ω]

m	パターン	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
0	オムニ	-4.77	-4.77	-4.77	-4.77	-4.77	-4.77
1	セクタ1	-90	-4.77	-4.77	-4.77	-4.77	-4.77
2	セクタ2	-4.77	-90	-4.77	-4.77	-4.77	-4.77
3	セクタ3	-4.77	-4.77	-90	-4.77	-4.77	-4.77
4	セクタ4	-4.77	-4.77	-4.77	-90	-4.77	-4.77
5	セクタ5	-4.77	-4.77	-4.77	-4.77	-90	-4.77
6	セクタ6	-4.77	-4.77	-4.77	-4.77	-4.77	-90

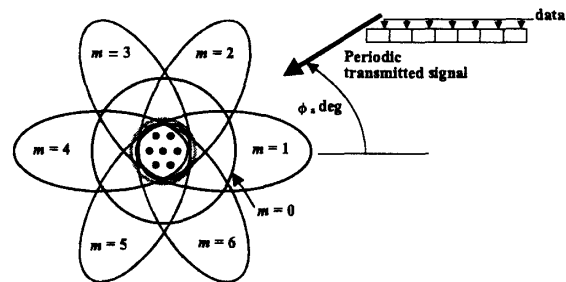


図1 周期信号系列と受信指向性パターン

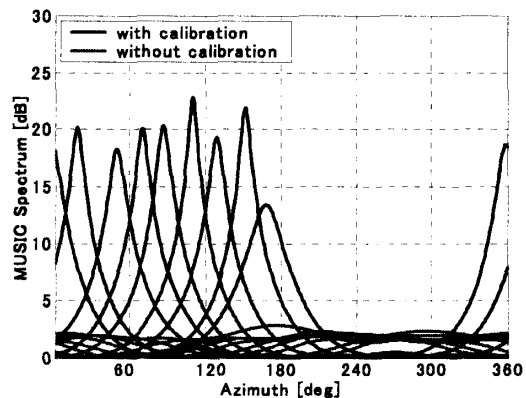


図3 MUSIC スペクトラム (入力 SNR : 20dB) (DOA = 0,20,50,70,90,110,130,150,170deg の実験結果)

参考文献

- [1] 平田, 程, 飯草, 橋口, 大平, “エスパアンテナのリアクタンズドメイン信号処理—空間相関及び相関行列—”, 信学技報, RCS2002-148, pp.9-14 (2002-08).
- [2] C.Plapous, J.Cheng, E.Taillefer, A.Hirata, and T.Ohira, "Reactance-Domain MUSIC Algorithm for ESPAR Antennas", Tech.Rep. of IEICE, RCS2002-147(2002-08).