

リアクタンスドメイン MUSIC 法の従来アレーとの比較

DOA Angular Resolution of ESPAR Antenna in Comparison with a UCA Array

平田 明史¹ 山田 寛喜^{1,2} 大平 孝¹

Akifumi HIRATA Hiroyoshi YAMADA Takashi OHIRA

¹ATR 適応コミュニケーション研究所 ATR Adaptive Communications Research Laboratories²新潟大学工学部 Faculty of Engineering, Niigata University

1. まえがき エスパアンテナによるリアクタンスドメイン MUSIC 法を提案しているが、電波到来方向推定の角度分解能は従来の円アレーと比較されていなかった。そこで角度推定誤差を評価し、素子間隔が狭い領域にエスパアンテナの有効性が存在することを示す。

2. リアクタンスドメイン(RD)-MUSIC 法 指向性ビームを M 回転させて L 方位から無相関 L 波の信号を N サンプル(samp.)受信するとき、エスパアンテナの受信信号行列 \mathbf{Y} は $M \times N$ の行列として、 $\mathbf{Y} = \mathbf{PS} + \mathbf{N}$ にて表される[1]。 \mathbf{P} は L 方位の「指向性ベクトル($\mathbf{p}(\phi)$)」から成る行列、 \mathbf{S} は $L \times N$ の信号系列、 \mathbf{N} は $M \times N$ の熱雑音行列である。ここで、指向性ベクトル $\mathbf{p}(\phi)$ はバラクタのリアクタンス値とアンテナ素子の結合を含む。電波到来方向(DOA)は \mathbf{Y} に対して MUSIC 法を適用して求める。

指向性ビームの複素パターンは NEC によって図 1 のダイポールモデルを解析し、方位角 ϕ の 0 度から 0.05 度間隔で求める。可変リアクタンス値は 1 番素子から順に $[-90\Omega -4.8\Omega -4.8\Omega -4.8\Omega -4.8\Omega -4.8\Omega]$ (set1)を装荷して 0 度方向のビームを形成し、60 度ごとに回転させて $\mathbf{p}(\phi)$ を得る ($M=6$)。また、素子間隔ごとに平均ビーム間相関係数(ρ_{ave})が最小となるように最急勾配法で求めたリアクタンスセット(set2, 表 1)も使用する。平均ビーム間相関係数は 0 度方向と 60 度ごとに 60 度から 300 度までの方向の複素ビームパターンにおけるビーム間相関係数の平均値である。

3. 従来アレーにおける MUSIC 法 エスパアンテナと同形状の 7 素子 UCA(Uniform Circular Array)による MUSIC 法(本稿では UCA-MUSIC 法と呼ぶ)と RD-MUSIC 法の角度分解能を比較する。素子間結合は図 2 の内部抵抗を 100Ω とし、素子間隔ごとに計算し、UCA の指向性を表すモードベクトル $\mathbf{d}(\phi) = [d_0(\phi) \dots d_6(\phi)]^T$ を求める。 $d_0(\phi)$ は図 2(a)から、 $d_m(\phi)$ ($m=1, \dots, 6$) は図 2(b)を 60 度ごとに回転させて得られる複素パターンである。 L 方位のモードベクトルから成るモード行列を \mathbf{D} と表し、信号系列及び熱雑音を RD-MUSIC 法と同一とすると、UCA の受信信号行列は $\mathbf{X} = \mathbf{DS} + \mathbf{N}$ と表される。 DOA は \mathbf{X} に MUSIC 法を適用して求める。

4. シミュレーション諸元及び結果 図 1 及び図 2 において、素子長及び素子半径はそれぞれ 0.5λ 及び 0.01λ とする。受信周波数は $2.5\text{GHz}(\lambda=120\text{mm})$ である。無相関 2 波が方位角 30 度と 38 度から到来する。この角度差は、本稿の全ての条件において MUSIC スペクトラムの 2 つのピークが確実に検出できる角度差である。到来信号電力と雑音電力の比で定義する入力 SNR は 20dB とする。30 度方向の到来波に対する MUSIC スペクトラムのピーク $\hat{\phi}$ は 0.05 度間隔で求められ、推定誤差の RMSE 値は $T=1000$ 回の試行に対して、

$$RMSE [\text{deg}] = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{\phi} - 30^\circ)^2}$$

によって求められる。

図 3 に RD-MUSIC 法と UCA-MUSIC 法の RMSE 値の比較を示す。 RD-MUSIC 法は「1000samp. \times 6 方位」の時間から得られる結果であるため、UCA-MUSIC 法では 1000samp. 及び 6000samp. の場合の両方を示す。リアクタンスの set1 を用いると素子間隔 0.25λ において、set2 を用いると 0.375λ より狭い素子間隔において、角度分解能が 1000samp. の UCA-MUSIC 法よりも向上している様子が分かる。これは狭い素子間隔において、エスパアンテナがリアクタンスを積極的に変化させてビーム間の相関を下げているためと考えられる。

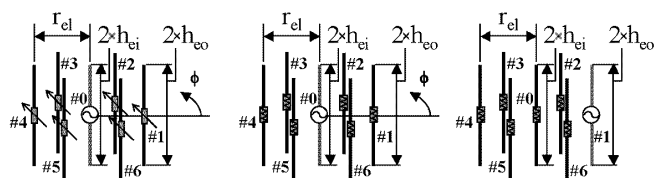


図 1 ESPAR model

図 2 UCA model

表 1 選択したリアクタンスセット(set2)

間隔 λ	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	ρ_{ave}
0.25	-151	-25.8	13.9	-16.7	13.9	-25.8	0.03
0.375	-120	6.70	22.4	-5.20	22.4	6.70	0.06
0.5	-87.5	-21.8	52.5	-27.0	52.5	-21.8	0.02
0.625	-40.0	-84.6	-40.0	14.2	-63.5	14.2	0.07
0.75	-90.3	-140	-90.3	10.7	-52.0	10.7	0.28
0.875	-85.8	-85.8	10.4	-85.8	-85.8	10.4	0.76

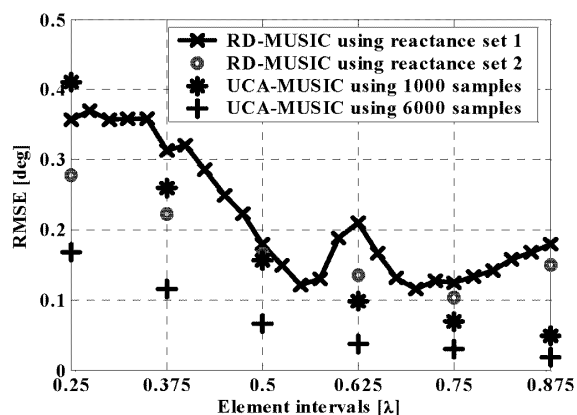


図 3 角度分解能の比較 (DOA=[30deg, 38deg])

5. むすび RD-MUSIC 法はリアクタンスを変化させてビーム間の相関を低下させることができるため、狭い素子間隔において有効性が強調されることを示した。

謝辞 本研究は通信・放送機構の研究委託「自律分散型無線ネットワークの研究開発」により実施したものである。

参考文献 [1]平田他, 信学技報, AP2004-73, Jul. 2004.