

エスパアンテナの素子間隔と電波到来角度分解能の関係

A Relation between Angular Resolution of DOA Estimation and Element Intervals of the ESPAR Antenna

平田 明史¹ 樋口 啓介¹ タユフェール エディ¹ 山田 寛喜^{1,2} 大平 孝¹

Akifumi HIRATA Keisuke HIGUCHI Eddy TAILLEFER Hiroyoshi YAMADA Takashi OHIRA

¹ATR 波動工学研究所 ATR Wave Engineering Laboratories

²新潟大学工学部 Faculty of Engineering, Niigata University

1. まえがき エスパアンテナはリアクタンスドメイン信号処理によって高分解能到来方向推定が可能である[1]. これまで, 角度分解能の向上を目的として, 素子間隔と角度分解能の関係を解析し, 0.5 波長間隔以上の箇所に角度分解能を最小にする素子間隔が存在することを報告している[2]. 本報告では, 素子間隔を 0.125 波長とした場合の角度分解能が, 従来の 0.25 波長間隔の場合に比べてあまり低下しないことを述べ, その要因を考察する.

2. 素子間隔と角度分解能 あるリアクタンスセットを回転させて M 通りの指向性ビームを形成するとき, ある方位角 ϕ に対する指向性ビーム毎の複素パターン $p_m(\phi)$ ($m=1, 2, \dots, M$) から成る指向性ベクトルを $\mathbf{p}(\phi) = [p_1(\phi) \dots p_M(\phi)]^T$ とする. L 方位から無相関 L 波の信号が到来するとき, L 方位の指向性ベクトルから成る指向性行列を $\mathbf{P} = [\mathbf{p}(\phi_1) \dots \mathbf{p}(\phi_L)]$ と表し, L 波の信号系列 (シンボル長 N) を $L \times N$ の行列として \mathbf{S} とおくと, 指向性ビームを回転させたときのエスパアンテナの受信信号 \mathbf{Y} は $M \times N$ の行列として, $\mathbf{Y} = \mathbf{P}\mathbf{S} + \mathbf{N}$ にて表される. \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 $\mathbf{p}(\phi)$ はパラクタのリアクタンス値とアンテナ素子の結合を含む. 電波到来方向は \mathbf{Y} に対して MUSIC 法を適用して求める.

本報告では角度分解能の指標として角度推定誤差を用いる. エスパアンテナを半波長ダイポールのアレーとして, 素子間隔を 0.125 λ から 1 λ まで 0.025 λ 間隔で変化させたときのビームパターンを NEC2 によって計算し, そのパターンを用いた計算機シミュレーションによって角度推定誤差の RMS 値を求めた. ここで, 1 λ は 12cm である. リアクタンスセット $[-90\Omega -4.8\Omega -4.8\Omega -4.8\Omega -4.8\Omega -4.8\Omega]$ を用いて 0 度方向にビームを形成し, 60 度毎に回転させて指向性ベクトル $\mathbf{p}(\phi)$ ($\phi = 0, 0.05, \dots, 360[\text{deg}]$) を得る. $\mathbf{p}(\phi)$ は測定によって完全に既知であるものとする. シンボル長 $N=1000$, 入力 SNR は 20dB とする. 到来角 $[\phi \pm 8]\text{deg}$ の無相関波 2 波が到来するとき, 推定誤差の RMS 値は $T=1000$ 回の試行に対して次式によって求める.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{k=1}^T (\hat{\phi}_k - \phi)^2} \quad [\text{deg}]$$

図 1 は角度推定誤差の RMS 値を, 素子間隔を横軸にしてプロットしたものである. 図 1 から, 素子間隔 0.125 λ のときの RMS 値は 0.25 λ 間隔のときに比べて, あまり増加していないことが分かる. これは, 0.125 λ 間隔の場合における指向性ベクトル間の相関が 0.25 λ 間隔の場合に比べてほとんど変わらないためと考えられる (図 2). 図 2 は 0 度方向と 8 度方向の相関係数であるが, 10 度方向と 18 度方向, 20 度方向と 28 度方向, 及び 30 度方向と 38 度方向の場合も同様であることを確認している. 指向性ベクトルは従来アレーのモードベクトルと等価な役割を果たすため, 指向性ベクトル間の相関が低下するほどに高い角度

分解能を有すると言える. 指向性ベクトル間の相関があまり変わらないのは, ビームパターンが直交していないためと考えられるが, 現時点では直交ビームのためのリアクタンスセットは明らかではない. 一方, 0.125 λ 間隔のときの指向性利得は 0.25 λ 間隔のときよりも約 2dB 低下している (図 3). 指向性利得の低下は SN 比の低下を招く. したがって, 0.125 λ 間隔の場合の RMS 値は 0.25 λ 間隔の場合に比べて僅かに増加しているものと考えられる.

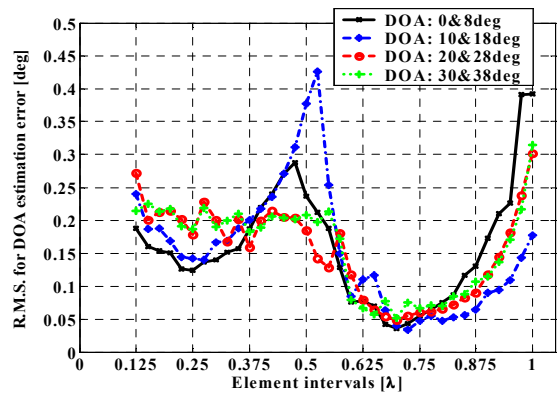


図 1 素子間隔と角度推定誤差

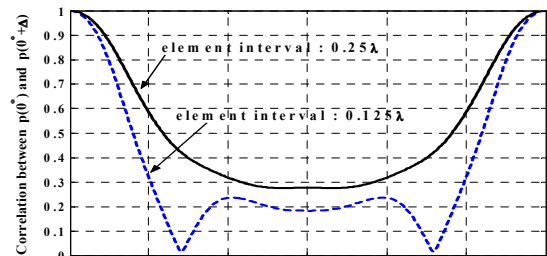


図 2 指向性ベクトルの相関係数

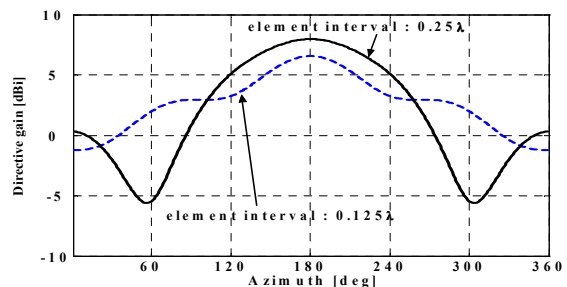


図 3 指向性ビームパターン

3. むすび 素子間隔 0.125 λ における角度分解能は 0.25 λ 間隔の場合とほぼ同等であることの原因を考察した.

謝辞 本研究は情報通信研究機構の研究委託「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] C.Plapous et al., EuMW, pp.793-796, Munich, Oct. 2003.
- [2] 平田他, “エスパアンテナの素子間隔と電波到来角度分解能に関する一検討”, 信学技報, AP, July 2004. (発表予定)