

## B-1-270 7素子エスパアンテナによる RD-SSP-MUSIC 法の信号間相関抑圧効果

Correlation Suppression for Coherent Signals in RD-SSP-MUSIC by a 7-elements ESPAR Antenna

平田 明史<sup>1</sup> タユフェール エディ<sup>1</sup> 青野 智之<sup>1</sup> 山田 寛喜<sup>1,2</sup> 大平 孝<sup>1</sup>

Akifumi HIRATA Eddy TAILLEFER Tomoyuki AONO Hiroyoshi YAMADA Takashi OHIRA

<sup>1</sup>ATR 適応コミュニケーション研究所 ATR Adaptive Communications Research Laboratories<sup>2</sup>新潟大学工学部 Faculty of Engineering, Niigata University

## 1. まえがき

RD(Reactance-Domain)-SSP-MUSIC 法を提案している[1]. この方法は菱形サブアレーの平行移動による空間平均であるため平行移動の方向と到来方向の関係によって相関抑圧効果が変化するが、これまでその到来角度依存性については深く議論されていない. そこで本報告では、完全相関波 2 波が到来する電波環境において、その到来角度を変化させて空間平均による相関抑圧効果を解析する.

## 2. RD-SSP-MUSIC 法とコヒーレント信号間相関

RD-SSP-MUSIC 法は、指向性ビームを回転し生成した相関行列に F/B 空間平均[2]を施すことによって、到来する信号間の相関を抑圧し到来方向を推定する方法である[1]. 7 素子エスパアンテナは中央に給電素子を配置しているため、図 1 に示すように菱形サブアレーが形成できる. F/B 空間平均はこの菱形サブアレーに適用される.

エスパアンテナのリアクタンスドメインによる受信信号ベクトル及び信号相関行列は  $\mathbf{y}(t) = \mathbf{W}\mathbf{A}\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t)$ ,  $\mathbf{R}_{yy} = E[\mathbf{y}(t)\mathbf{y}^H(t)]$  で表される.  $\mathbf{W}$  は素子間結合を含んだ等価ウエイト行列,  $\mathbf{A}$  は到来方向モードベクトルからなる行列,  $\mathbf{s}(t)$  は到来信号ベクトル及び  $\mathbf{n}(t)$  は熱雑音ベクトルである.  $E[\cdot]$  は時間平均, 添字  $^H$  は複素共役転置を表す.  $\mathbf{R}_{yy}$  は  $\mathbf{W}$  を含んでいるため等価エレメントスペース変換 [1]  $\mathbf{R}_{xx} = \mathbf{W}^{-1}(\mathbf{R}_{yy} - \sigma^2 \mathbf{I})(\mathbf{W}^{-1})^H$  及び  $\mathbf{R}_{xx}$  行列要素の並び替えによって空間平均を適用できる形に変換する.  $\sigma^2 \mathbf{I}$  は熱雑音電力  $\sigma^2$  を要素とする対角行列である. 並び替え後の相関行列  $\mathbf{R}_{xx}^{(1)}$  は  $\mathbf{R}_{xx}$  の第  $m$  行第  $k$  列の要素を  $r_{mk}$  として  $\mathbf{R}_{xx}^{(1)} = [\mathbf{r}_1 \ \mathbf{r}_2 \ \mathbf{r}_6 \ \mathbf{r}_0 \ \mathbf{r}_3 \ \mathbf{r}_5 \ \mathbf{r}_4]$ ,  $\mathbf{r}_k = [r_{1k} \ r_{2k} \ r_{6k} \ r_{0k} \ r_{3k} \ r_{5k} \ r_{4k}]^T$  ( $k=0,1,\dots,6$ ) にて表される.

相関波 2 波が到来する環境において  $\mathbf{R}_{xx}^{(1)}$  に 4 素子菱形サブアレーの F/B 空間平均を施した後の 4 次正方行列を  $\mathbf{R}_{sub}^{(1)}$  とすると,  $\mathbf{R}_{sub}^{(1)}$  は空間平均によって相関抑圧された後の信号間相関行列  $\mathbf{R}_{ss}^{(1)}$  を用いて次式のように表される.  $\mathbf{A}_{sub}^{(1)}$  は菱形サブアレーの到来方向モードベクトルに関する行列である.

$$\mathbf{R}_{sub}^{(1)} = \mathbf{A}_{sub}^{(1)} \mathbf{R}_{ss}^{(1)} \mathbf{A}_{sub}^{(1)H} = \mathbf{A}_{sub}^{(1)} \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \mathbf{A}_{sub}^{(1)H}$$

SSP 後の信号相関係数は  $\rho = |s_{12}| / \sqrt{|s_{11}| |s_{22}|}$  である.

## 3. シミュレーション諸元及び結果

図 1 に 7 素子エスパアンテナを中心に 2 つの送信源が到来角  $\alpha, \beta$  で回転している様子を示す. 送信源からの信号は受信アレーの中心において等電力, 完全相関であるものとする. 素子番号 "1-2-6-0" 及び "0-3-5-4" の菱形サブアレー (SSP000) に F/B 空間平均を施して, 相関波 2 波の相関を抑圧し MUSIC 法によって到来方向を推定する. 変調方式は BPSK, 入力 SNR は 20dB とする.

図 2 に  $\beta$  を固定し  $\alpha$  を回転させた場合の相関係数  $\rho$  の変化を示す.  $\beta=180\text{deg}$  固定の場合には角度差 30deg の  $\alpha=150\text{deg}$  (or 210deg) であっても  $\rho$  がほぼ 1 であるのに対して,  $\beta=120\text{deg}$  固定の場合には同じ角度差 30deg の  $\alpha(=90\text{deg})$  において相関を約 0.9 に抑圧している様子が分かる. その結果, 図 3 に示すように到来角 150deg, 180deg の場合には 2 波が分離できていない ( $\rho=0.9929$ ) のに対して, 到来角 120deg, 90deg の場合 ( $\rho=0.9191$ ) には 2 つのピークを検出できている様子が分かる. 一方, 平行移動方向を 60deg 回転させた, 素子番号 "2-3-1-0" 及び "0-4-6-5" の菱形サブアレー (SSP060) による F/B 空間平均を施すと, 到来角 150deg, 180deg は SSP000 における到来角 120deg, 90deg の場合と同様となるので 2 波が分離できるようになる ( $\rho=0.9236$ ).

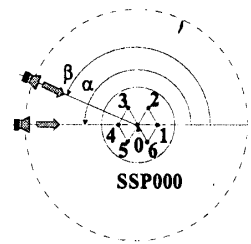


図 1 送信源位置

RD-SSP-MUSIC 法の信号間相関抑圧効果について解析し, 平行移動方向から到来する近接した相関波 2 波の角度分解能の劣化は, 他の平行移動の F/B 空間平均によって補償できることを示した.

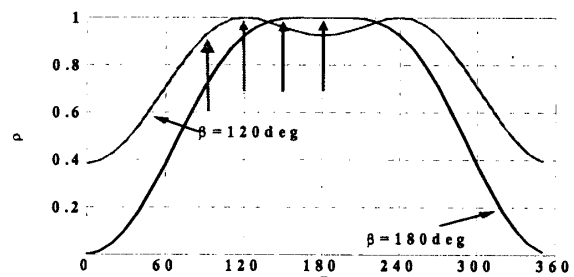


図 2 相関抑圧効果

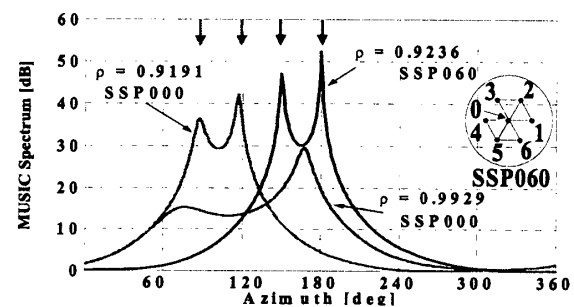


図 3 F/B 空間平均を施した MUSIC スペクトラム

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] A.Hirata, T.Aono, H.Yamada, and T.Ohira, WPMC '03, Yokosuka, vol.3, pp.242-246, Oct. 2003.
- [2] 菊間, アレーアンテナによる適応信号処理, pp.247-268, ISBN4-87653-054-8, 科学技術出版, 1998.