

## MIMO-Capon 法によるターゲット方位推定に関する一検討

Study on DOA Estimation Using MIMO-Capon method

金子和弘 Kazuhiro Kaneko 山田寛喜 Hiroyoshi Yamada 山口芳雄 Yoshio Yamaguchi

新潟大学大学院自然科学研究科  
Graduate School of Science & Technology, Niigata University

## 1 まえがき

本稿では、MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)システムを用いて送信の各素子から無相関な探索信号を送信し、ターゲットからの反射波を受信するシステムを考え、反射波の到来方向推定を行う。ここで、スナップショット数が少ない場合に Capon 法による到来方向推定精度が劣化する問題について、送信信号を互いに無相関にするようなウェイトを生成する。さらに、受信信号に対して Forward/Backward 平均 (以降 F/B 平均) を導入することで推定精度の劣化しない Capon 法到来方向推定について提案する。

## 2 受信データモデル

送信に  $M_t$  素子リニアアレー、受信に  $M_r$  素子リニアアレーを用いた MIMO システム (モノスタティック構成) を考える。単純化した点ターゲットの仮定の下で、受信信号行列  $Y$  は次式で表すことができる。

$$Y = b^*(\theta)\beta(\theta)a^H(\theta)X + Z \quad (1)$$

$$a(\theta) = [1, e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d_t \sin \theta}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d_t(M_t-1) \sin \theta}]^T \quad (2)$$

$$b(\theta) = [1, e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d_r \sin \theta}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d_r(M_r-1) \sin \theta}]^T \quad (3)$$

ここで、 $X$  は送信信号行列、 $a(\theta)$  は送信側モードベクトル、 $b(\theta)$  は受信側モードベクトル、 $\lambda$  は波長、 $d_t$  は送信素子間隔、 $d_r$  は受信素子間隔、 $\beta(\theta)$  は  $\theta$  方向からの反射波の複素振幅、 $Z$  は雑音による誤差の項である。また、 $*$  は複素共役、 $T$  は転置、 $H$  は複素共役転置を表す。

本稿では、Capon 法による到来方向推定として、Capon ビームフォーマの出力に Least-Square 法を適用した次式により到来方向推定を行う [1]。

$$\hat{\beta}_{Capon}(\theta) = \frac{b^T(\theta)\hat{R}_{yy}^{-1}YX^H a(\theta)}{N[b^T(\theta)\hat{R}_{yy}^{-1}b^*(\theta)][a^H(\theta)\hat{R}_{xx}a(\theta)]} \quad (4)$$

本稿では、これを MIMO-Capon 法と呼ぶ。 $\hat{R}_{yy}$  は受信信号の相関行列である。ここで、スナップショット数  $N$  が少ない場合、送信信号が完全な無相関にはならず、送信信号の相関行列  $\hat{R}_{xx}$  が単位行列の形にならないため推定精度の劣化 (特にターゲットの振幅) につながる。そこで、送信信号が既知であるという仮定から、 $\hat{R}_{xx}$  を固有値からなる行列  $\Sigma$  と固有ベクトルからなる行列  $U$  に固有値展開し、

$$\hat{X} = \hat{w}X \quad (5)$$

$$\hat{w} = \Sigma^{-\frac{1}{2}}U^H \quad (6)$$

を用いることで、 $\hat{R}_{xx}$  を単位行列に変形する。

さらに  $\hat{R}_{yy}$  に対して F/B 平均処理を導入し、相関を抑圧することで、より高い推定精度を実現する。

$$\hat{R}_{yy} = \frac{1}{2}(\hat{R}_{yy} + J\hat{R}_{yy}^*J) \quad (7)$$

ここで  $J$  は行列の要素を逆順にする交換行列である。

## 3 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションにおけるシミュレーション諸元を表 1 に示す。図 1 に MIMO-Capon 法空間スペクトラムを示す。なお、今回の結果は 100 回の試行回数の平均を取っている。また、ターゲットの真値を黒点で示す。F/B 平均を行わない場合、ターゲット数  $K$  が  $K > M_t$  となるため、反射波がコヒーレント波となり、推定が行えない。しかし、F/B 平均処理を行うことで、受信側で相関が抑圧され、ターゲットの推定が可能となる。図 1 からターゲット振幅の真値 1 に対して、推定された振幅は約 0.9 であり、良好な推定精度を示していることが確認できる。

## 4 まとめ

本稿では、MIMO-Capon 法による到来方向推定において、送信側ウェイトと F/B 平均処理を行うことで良好な推定が行われることを計算機シミュレーションにより示した。

## 参考文献

- [1] Jian Li, Petre Stoica, MIMO Radar Signal Processing, John Wiley & Sons, Inc., 2008

表 1 シミュレーション諸元

送信素子数 ( $M_t$ )	3
受信素子数 ( $M_r$ )	5
アレー形状 (送受共通)	半波長等間隔リニアアレー
スナップショット数	25
ターゲット数 ( $K$ )	4
ターゲット方位	$[-60^\circ, -20^\circ, 10^\circ, 40^\circ]$
ターゲットの複素振幅	全てのターゲットで 1
雑音振幅 (白色ガウス雑音)	0.01 (SNR = 20dB)

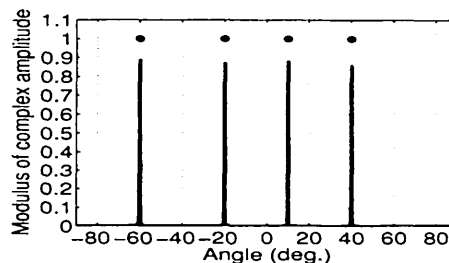


図 1 MIMO-Capon 法空間スペクトラム