

B-1-189

## MIMOシステムを用いた到来方向推定に関する一検討

Study on DOA Estimation Using Multiple-Input Multiple-Output System

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、Capon法による到来方向推定において推定精度が劣化する問題がある。本稿では、送信信号が既知であるという仮定から、送信信号に対する最適ウェイトを算出することで、少ないスナップショット数でも互いに無相関となる送信信号の生成手法を提案する。

## 2 受信データモデルおよび提案手法

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。

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

$$a(\theta) = [1, e^{j2\pi d_t \sin \theta}, \dots, e^{j2\pi d_t (M_t-1) \sin \theta}]^T \quad (2)$$

$$b(\theta) = [1, e^{j2\pi d_r \sin \theta}, \dots, e^{j2\pi d_r (M_r-1) \sin \theta}]^T \quad (3)$$

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]。

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

$\hat{R}_{yy}$  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  $N$  が少ない場合に送信信号が完全な無相関にはならないという問題がある。このとき式(4)の送信信号の相関行列  $\hat{R}_{xx}$  は単位行列の形にならず、Capon法による推定精度の劣化(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、送信信号の相関行列  $\hat{R}_{xx}$  が単位行列となるような

$$\hat{w}\hat{R}_{xx}\hat{w}^H = I \quad (5)$$

を満たす最適ウェイト  $\hat{w}$  を考える。 $\hat{R}_{xx}$  は固有値からなる行列  $\Sigma$  と固有ベクトルからなる行列  $U$  を用いて固有値展開でき、最適ウェイト  $\hat{w}$ 、および最適ウェイト適用後の送信信号行列  $\hat{X}$  はそれぞれ

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

$$\hat{X} = \hat{w}X \quad (7)$$

と表すことができる。本稿では、 $\hat{w}$  を適用した送信信号行列  $\hat{X}$  による到来方向推定を提案手法、 $X$  によるものを従来手法と呼ぶ。

## 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(a)、図1(b)にそれぞれ従来手法と提案手法の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、比較のために、それぞれの図に  $N = 256$  の場合に従来手法により推定されるピーク値を黒点で示す。提案手法では、 $N = 256$  の場合と同等程度のピーク値となり、良好なターゲットの振幅推定精度を示している。表2にそれぞれの手法で推定されたピーク値を示す。約10%程の振幅推定精度の改善が確認できる。

## 4 まとめ

本稿では少ないスナップショット数でも振幅推定精度の良好な送信信号の生成手法について提案した。また、計算機シミュレーションにより提案手法の有効性を示した。

## 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

アレー形状(送受共通)	5素子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	4
ターゲット方位	$[-30^\circ, 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ]$
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)

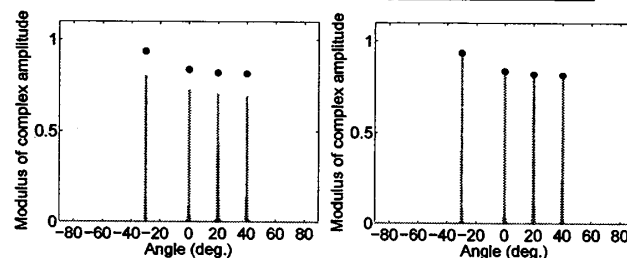


図1 Capon法空間スペクトラム

表2 推定されたピーク値(ターゲットの振幅)

	Target1	Target2	Target3	Target4
(a) 従来手法	0.80	0.72	0.70	0.69
(b) 提案手法	0.91	0.82	0.80	0.79