

MIMO レーダを用いた散乱体の位置推定に関する研究

川島 久和（指導教員：菊間 信良）

名古屋工業大学 工学部 電気電子工学科

1 まえがき

近年, MIMO(Multiple-InputMultiple-Output) と呼ばれる多入力・多出力の送受信双方に複数アンテナを用いた技術が提案され注目をあびている. MIMO は, 複数データを同じ時間に同じ周波数を用いて伝送することができる. 本研究では, MIMO 技術をレーダに適用した MIMO レーダの基本性能を確認した上で, ターゲットの距離特性に関して検討を行った.

2 MIMO の受信データモデルと手法

本研究の MIMO レーダは, 送信側 M_t 素子のリニアアレーおよび受信側 M_r 素子のリニアアレーから構成される. ターゲットは点と仮定すると, 受信信号のデータ行列は次のように表すことができる.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{b}(\theta)\beta(\theta)\mathbf{a}^T(\theta)\mathbf{X} + \mathbf{N} \quad (1)$$

$$\mathbf{a}(\theta) = \left[\frac{r_0}{r_1} e^{-j2\pi f_0 \tau_1(\theta)}, \dots, \frac{r_0}{r_{M_t}} e^{-j2\pi f_0 \tau_{M_t}(\theta)} \right]^T \quad (2)$$

$$\mathbf{b}(\theta) = \left[\frac{\tilde{r}_0}{\tilde{r}_1} e^{-j2\pi f_0 \tilde{\tau}_1(\theta)}, \dots, \frac{\tilde{r}_0}{\tilde{r}_{M_r}} e^{-j2\pi f_0 \tilde{\tau}_{M_r}(\theta)} \right]^T \quad (3)$$

ここで, $\mathbf{X}$ は送信信号のデータ行列, $\mathbf{a}(\theta)$ は送信側モードベクトル, $\mathbf{b}(\theta)$ は受信側モードベクトル, f_0 は搬送波周波数, θ はターゲットの送受信リニアアレーアンテナに対するブロードサイド方向からの角度, $\tau_i(\theta)(i=1,2,\dots,M_t)$ は i 番目の送信アンテナによって送信された信号が θ 方向にあるターゲットに到着するのに要する時間, $\tilde{\tau}_i(\theta)(i=1,2,\dots,M_r)$ は角度 θ に位置しているターゲットで反射した信号が i 番目の受信アンテナに到着するのに要する時間である. r_0 は送信アレーの基準点とターゲットとの距離で, r_i は送信アレーの i 番の素子とターゲットの距離である. 同様に $\tilde{r}_0$ は受信アレーの基準点とターゲットとの距離で, $\tilde{r}_i$ は受信アレーの i 番の素子とターゲットの距離である. $\beta(\theta)$ は θ 方向にあるターゲットから反射された信号の複素振幅 (反射係数), $\mathbf{N}$ は雑音による誤差項である.

本研究では, Capon ビームフォーマ [0] の出力に最小二乗法を適用したアルゴリズムを基礎としターゲットの位置推定を行う. Capon 法と APES(Amplitude and Phase Estimation) 法の角度スペクトラムはそれぞれ次のように表される [0].

$$\beta_{\text{Capon}}(\theta) = \frac{\mathbf{b}^H(\theta) \mathbf{R}_{yy}^{-1} \mathbf{Y} \mathbf{X}^H \mathbf{a}^*(\theta)}{N[\mathbf{b}^H \mathbf{R}_{yy}^{-1} \mathbf{b}(\theta)][\mathbf{a}^T(\theta) \mathbf{R}_{xx} \mathbf{a}^*(\theta)]} \quad (4)$$

$$\beta_{\text{APES}}(\theta) = \frac{\mathbf{b}^H(\theta) \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{Y} \mathbf{X}^H \mathbf{a}^*(\theta)}{N[\mathbf{b}^H \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{b}(\theta)][\mathbf{a}^T(\theta) \mathbf{R}_{xx} \mathbf{a}^*(\theta)]} \quad (5)$$

$$\mathbf{Q} = \mathbf{R}_{yy} - \frac{\mathbf{Y} \mathbf{X}^H \mathbf{a}^*(\theta) \mathbf{a}^T(\theta) \mathbf{X} \mathbf{Y}^H}{N^2 \mathbf{a}^T(\theta) \mathbf{R}_{xx} \mathbf{a}^*(\theta)} \quad (6)$$

ここで $\mathbf{R}_{yy}$ は受信信号の相関行列, $\mathbf{R}_{xx}$ は送信信号の相関行列, N はスナップショット数である. また Capon 法と APES 法に基づく CAPES 法 [0] による推定も行う.

CAPES 法は Capon 法を用いて複素振幅のピーク位置を推定し, APES 法を用いて Capon 法によって得られた位置で複素振幅を精査する.

3 計算機シミュレーションとまとめ

計算機シミュレーションにより Capon 法, APES 法, および CAPES 法による複素振幅推定を行う. シミュレーション諸元として表 1, 表 2 の値を用いる. 評価には, 真値との差分 (Bias) を用い, ターゲットの距離特性を調べる. 横軸を垂直距離 (Range[*λ]), 縦軸を Bias として, 結果を図 1 に示す.

表 1 シミュレーション諸元 (アンテナ)

アレー形状 (送受共通)	等間隔リニアアレー
アンテナ素子	等方性
送信アンテナ数 M_t	3
受信アンテナ数 M_r	3
入力 SNR	10dB
入力電力	全て 1

表 2 シミュレーション諸元 (ターゲット)

ターゲット数 K	1
到来角 θ	-30 °
垂直距離 d	2λ~20λ で 0.5λ 間隔
複素振幅 β	5
スナップショット数 N	256 回

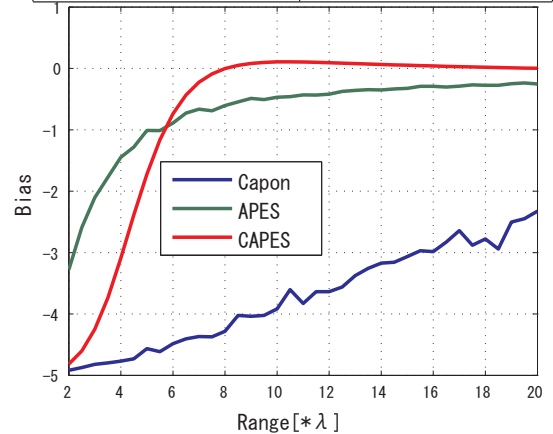


図 1 近傍領域付近から遠方領域までの距離特性

図よりターゲットの距離が遠くなるに従い, 複素振幅推定値が真値に収束していくことを確認できる. また 6λ より近いところでは APES 法, 6λ より遠いところでは CAPES 法の特徴が良いことが分かる. 今後の課題として, 有限個のアンテナ数でどの程度の信号を分解できるかや, 新たに CAML 法 [0] に対して同様の検討を行うことが挙げられる.

参考文献

- [1] 菊間信良: アダプティブアンテナ技術, オーム社, 2003.
- [2] Jian Li, Petre Stoica, MIMO Radar Signal Processing, John Wiley & Sons, Inc., 2008.