**OP3-5** 

# 非探索型EMアルゴリズムを用いた 二次元電波到来方向推定に関する研究

石﨑 亮多 (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

近年の移動通信や室内無線通信などの発達により,電 波(多重波,干渉波)の到来方向(DOA)推定が重要な技 術となっている[1].到来方向推定法としてのEM・SAGE アルゴリズムは,低SNR環境においても高い推定精度 を有し,到来波に相関がある場合でも推定を行うことが できる.しかし,反復ごとに探索を行うため,他のアル ゴリズムと比べると推定に時間がかかるという問題があ る[2].更に,推定パラメータの次元が増えればより一層 深刻な問題となる.そこで本研究では,推定時間短縮の ために非探索型EM・SAGE アルゴリズムを平面アレー アンテナに導入し,計算機シミュレーションにより,従 来の探索型EM・SAGE アルゴリズムと比較検討を行う.

#### 2 非探索型 EM・SAGE アルゴリズム

 $N \times M$ 素子平面アレーの入力ベクトルの不完全データ (観測データ)に対して,モードベクトルを実数化するた めの Unitary 変換 [1][3] を施す. *L* 波到来したとき,変換 後の不完全データ y(*t*) は *L* 個の変換後の完全データ(1 波 受信データ) y<sub>l</sub>(*t*) の線形和で表される. EM アルゴリズム の反復計算は E(expectation)-Step, M(maximization)-Step に分けられ, E-Step では,前回反復時の推定値から完全 データの最尤推定値を求める.これは,第*i* 反復時の第*l* 波の到来角(天頂角と方位角)の推定値を $\theta_l^{(i)}, \phi_l^{(i)}$ ,信号波 形の推定値を  $s_l^{(i)}(t)$ ,実数値モードベクトルを $d(\theta_l^{(i)}, \phi_l^{(i)})$ とすると,次式で与えられる.

$$\mathbf{y}_{l}^{(i)}(t) = \mathbf{d}(\theta_{l}^{(i)}, \phi_{l}^{(i)})s_{l}^{(i)}(t) + \beta_{l}\mathbf{n}_{l}^{(i)}(t)$$
(1)

ここで, $n_l^{(1)}(t)$ は熱雑音ベクトル推定値を表し, $\beta_l$ は雑 音項推定に関する非負の係数である.この $\beta_l$ により収 束特性が変化する.M-Stepでは,E-Stepで推定された 完全データから尤度を最大化するモデルパラメータを推 定し,更新する.本研究では, $\theta$ , $\phi$ に関する推定を非探 索手法である 2D Unitary ESPRIT[3]を用いて行い,信号 波形の推定は次式のように行う.

$$s_{l}^{(i+1)}(t) = \frac{\boldsymbol{d}(\theta_{l}^{(i+1)}, \phi_{l}^{(i+1)})^{T} \boldsymbol{y}_{l}^{(i)}(t)}{\boldsymbol{d}(\theta_{l}^{(i+1)}, \phi_{l}^{(i+1)})^{T} \boldsymbol{d}(\theta_{l}^{(i+1)}, \phi_{l}^{(i+1)})}$$
(2)

SAGE アルゴリズムは各反復で,到来波毎に E-Step, M-Step から成る SAGE サイクルと呼ばれるパラメータ 推定値の更新を順次行うもので,改良 EM アルゴリズム の一つである[2].

### 3 計算機シミュレーションによる検討とまとめ

表1の条件下で計算機シミュレーションを行った.推 定値の評価には,平均二乗誤差(RMSE)を用いた.EM アルゴリズムには探索手法のFast EM[2],およびM-Step にSLS-ESPRIT[4]を適用した非探索型アルゴリズムを用 いた.また,非探索手法については,雑音推定項にかかる 係数  $\beta_l$  の値は 1 と 0.5 の場合について比較した.RMSE と SNR の関係を図 1,2 に示す.また,各種 EM・SAGE アルゴリズムにおいて角度推定にかかる時間を 450 回測 定し,その平均を求めた結果を表 2 に示す.なお,SAGE には EM と同様の手法を用いている.

図から分かるように,非探索型において $\beta_l = 1$ とした 場合,推定ができていないと言ってよい.これは, $\beta_l$ の 値が大きすぎるためと考えられる.従って, $\beta_l$ の値を小 さくすれば推定が可能となり,低 SNR 環境における推定 精度を探索型と同程度まで改善することができる.探索 型ではサーチする間隔によって推定精度に制限があるの に対して,非探索型ではそのような制限が無い.それ故, 非探索型の推定精度が向上したと言える.また,推定時 間に関しては大幅な短縮ができ,非探索型の有効性が確 認できる.今後の課題としては,非探索型 EM・SAGE アルゴリズムの最適な $\beta_l$ の詳細検討が挙げられる.

#### 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] P. J. Chung and J. F. Bohme, Signal Processing, vol.82, pp.1753-1762, Nov. 2002.
- [3] M. D. Zoltowski *et al.*, IEEE Trans. Signal Processing, vol.44, no.2, pp.316-328, Feb. 1996.
- [4] M. Haardt, IEEE Trans. Signal Processing, vol.45, no.3, pp.792-799, Mar. 1997.



쿡	表 2	推定時間平均値(450回	)(単位:秒)
		Fast ( 空間分割数 200/1 次元 )	SLS-ESPRIT
	EM	53.7516	0.0490
	SAGE	53.4190	0.0481