

B-1-201

相関波到来時における Khatri-Rao 積拡張アレーの DOA 推定誤差改善

DOA Estimation Error Improvement by the Khatri-Rao Product Array in the Presence of Correlated Waves

白井 智士¹
Satoshi SHIRAI

山田 寛喜¹
Hiroyoshi YAMADA

山口 芳雄¹
Yoshio YAMAGUCHI

新潟大学大学院自然科学研究科¹
Graduate School of Science & Technology, Niigata University

1 はじめに

近年、従来のアレー自由度を超える推定を可能にする手法として、Nested Array と Khatri-Rao(KR) 積を用いた拡張アレー処理が提案され、注目を集めている [1]。しかし、相関波が到来した場合、KR 積拡張アレーを用いた推定に誤差が生じる [2]。そこで本稿では、行列累乗根を用いた新たな誤差改善法を提案し、その有効性を示す。

2 受信データモデル

M_r 素子のアレーアンテナに K 波が到来する場合を考える。時刻 t のスナップショットにおける受信信号と受信相関行列は次式で与えられる。

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{k=1}^K \mathbf{a}(\theta_k) s_k(t) + \mathbf{n}(t) = \mathbf{A} \mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (1)$$

$$\mathbf{R}_{xx} = E[\mathbf{x}(t)\mathbf{x}^H(t)] \quad (2)$$

ここで $s_k(t)$ は k 波目の複素振幅、 $\mathbf{n}(t)$ は付加雑音ベクトル、 \mathbf{a}_k は、 k 波目のモードベクトル、 $E[\cdot]$ は期待値演算、 $[\cdot]^H$ は複素共役転置、 \mathbf{A} はモード行列である。

3 Two-Level Nested Array と Khatri-Rao 積拡張アレー

Two-Level Nested Array (TL-NA)[1] は素子間隔の異なる 2 つの ULA から構成される。TL-NA に KR 積拡張アレー処理を適用する。 $\mathbf{z} = \text{vec}(\mathbf{R}_{xx})$ を新たな受信データとして推定を行うことで、 M_r が偶数の場合、最大で $(M_r^2 - 2)/2 + M_r - 1$ 波までの推定が可能となる。

4 提案手法

受信相関行列に対し、 N_r 乗根をとることを考える。行列累乗根をとっても、固有ベクトルは変動せず、固有値のみが変化する。

$$\mathbf{R}_{xx}^{\frac{1}{N_r}} = \mathbf{E} \mathbf{\Lambda}^{\frac{1}{N_r}} \mathbf{E}^H \quad (3)$$

ここで $\mathbf{\Lambda}$ は対角要素に固有値 λ_i を持つ行列であり、 \mathbf{E} は固有ベクトルからなる行列である。 λ に着目してみれば、累乗根を取ることで、最大固有値と二番目以降の固有値との比が小さくなる。つまり、信号の直交性が上がり、相対的に相関成分の寄与を小さくする、相関抑圧効果が期待できる。 $\mathbf{R}_{xx}^{\frac{1}{N_r}}$ を用いて KR 積拡張アレー処理を行うことで、相関波到来時の推定誤差改善が期待できる。

5 計算機シミュレーション

4 素子 TL-NA に KR 積拡張を適用後、サブアレー素子数 6 の SSP を適用し、MUSIC 法を用いて推定を行った。

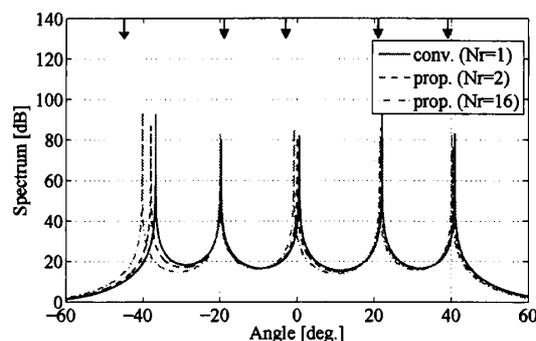


図1 MUSIC スペクトラム ($|\rho| = 0.9$)

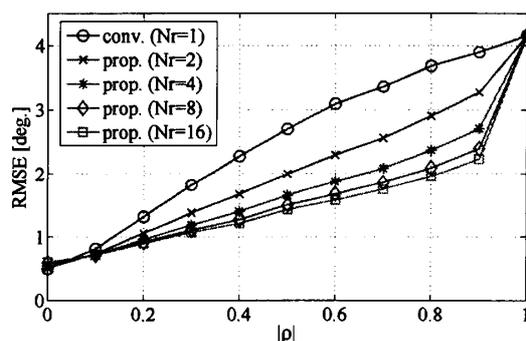


図2 相関係数変化に対する DOA の RMSE

またパラメータは、SNR 20 [dB]、スナップショット数 1000、RMSE 試行回数 100、到来角度 -45, -19, -3, 21, 39 [deg.] とした。シミュレーション結果を図 1、図 2 に示す。結果より、提案手法によって相関波到来時の RMSE が改善していることがわかる。

6 まとめ

本稿では、相関波到来時の KR 積拡張アレーにおいて、DOA 推定誤差の改善に関する検討を行った。ここでは、受信相関行列の行列累乗根を用いる手法を提案し、提案手法により推定誤差が改善することを示した。

謝辞 本研究は科研費 (基盤研究 (C) 23560442) の助成により行われたものである。

参考文献

- [1] P. Pal, et al., IEEE Trans. Signal Processing, vol.58, no.10, pp.4167-4181, Aug. 2010.
- [2] 青柳ほか, 信学技報, Vol.AP2011-167, pp.119-124, Jan. 2012.
- [3] 白井ほか, 信学技報, Vol.AP2012, Sept. 2012. 発表予定