

Khatri-Rao 積拡張アレー処理を用いた海洋レーダの ドップラ周波数推定特性について

On Doppler Frequency Estimation by Ocean Surface Current Radar

Using the Khatri-Rao Product Array Processing

小沢 直輝¹
Naoki Ozawa

山田 寛喜¹
Hiroyoshi Yamada

山口 芳雄¹
Yoshio Yamaguchi

平野 圭蔵²
Keizo Hirano

伊藤 浩之²
Hiroyuki Ito

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

² 長野日本無線株式会社
Nagano Japan Radio Co., Ltd.

1 はじめに

海洋レーダは、ブラッグ散乱共鳴機構を利用して海象情報を観測するドップラレーダである [1]。今回、距離情報を Frequency Modulated Interrupted Continuous Wave レーダ方式、角度情報をアレーアンテナによる Digital Beam Forming 方式で得る海洋レーダについて考える。十分な角度分解能を確保するためには、開口長を広げることが必要である。一方、仮想的に開口長を広げることができる Khatri-Rao(KR) 積拡張アレー処理が提案されている [2]。本稿では、KR 積拡張アレー処理を海洋レーダに適用し、実測データを用いて到来方向推定とドップラ周波数推定を行い、その有効性を明らかにした。

2 受信データ

受信データは、距離・到来方向・速度の情報を持つ 3 次元データである。本稿では、あらかじめ距離推定、速度推定をした受信データを取り扱う。ここで、 L 素子 Uniform Linear Array (ULA) に K 波到来するときの受信信号、及び受信相関行列は次式で与えられる。

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

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

\mathbf{A} は $\mathbf{a}(\theta_k)$ を列とする $L \times K$ モード行列、 s_k は k 番目の反射波の複素振幅、 \mathbf{n} は雑音ベクトル、 $E[\cdot]$ はアンサンブル平均、 $[\cdot]^H$ は複素共役転置である。

3 Khatri-Rao 積拡張アレー処理

L 素子 ULA に KR 積拡張アレー処理を用いた場合、素子間隔を Δd とすると、実効アレー開口長は $(2L-2)\Delta d$ となる [2]。すなわち主ビーム幅を狭める効果を有し、角度分解能が向上する。

4 ドップラ周波数推定特性

角度分解能改善を行うことにより、ある対象角度でドップラ周波数を見たときの他の角度からの影響は減少すると考えられる。すなわち KR 積拡張アレー処理を用いて角度分解能を改善することによりドップラ周波数推定時のピークもより明瞭となる。

5 実測データ解析

本稿で用いた実測データは 2006 年 10 月に有明海で観測されたデータである。表 1 に諸元を示す。図 1(a), (b) に 8 素子 KR 積拡張前後の結果を示す。図 2(a), 図 3(a) は図 1(a), (b) からそれぞれ -4° , 11° で切り出し、 $-0.6 \sim -0.4$ [Hz] 成分を拡大した図である。また、図 2(b), 図 3(b) では 4 素子 KR 積拡張アレーと 7 素子実アレーの結果を直接比較し、提案手法の妥当性を検証している。図 2, 図 3 から KR 積拡張を施すことによって、よりピー

表 1 実測パラメータ

素子数	4(KR), 7, 8	素子間隔	7 [m]
対象距離	15 [km]	中心周波数	24.515 [MHz]
掃引周波数幅	100 [kHz]	1 掃引時間	500 [ms]
総掃引回数	1024	取得ポイント数	512

クが明瞭となり、それぞれのピークから受ける影響が減少していることがわかる。

6 まとめ

本稿では、Khatri-Rao 積拡張アレー処理を用いた海洋レーダの検討を実測データ解析により行い、ドップラ周波数推定特性の変化を確認した。

参考文献

- [1] 海岸工学委員会, 陸上設置型レーダによる沿岸海洋観測, 土木学会, 2001 年 3 月
- [2] W. K. Ma, et al., IEEE Trans. Signal Processing, vol.58, no.4, pp.2168-2180, Apr. 2010.

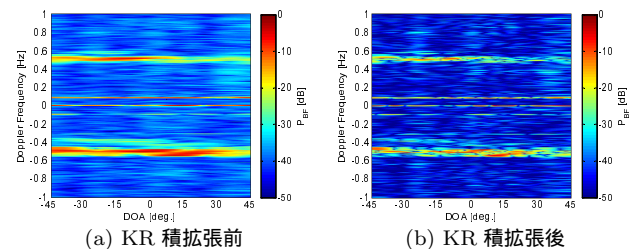


図 1 2次元推定スペクトラム (角度, ドップラ周波数)

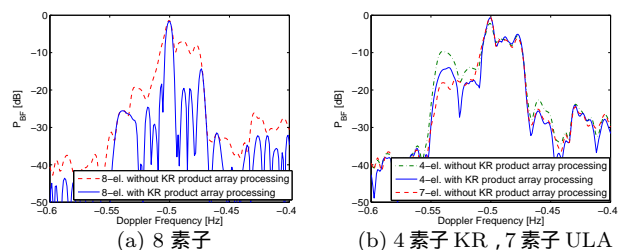


図 2 ドップラ周波数推定スペクトラム (対象角度: -4°)

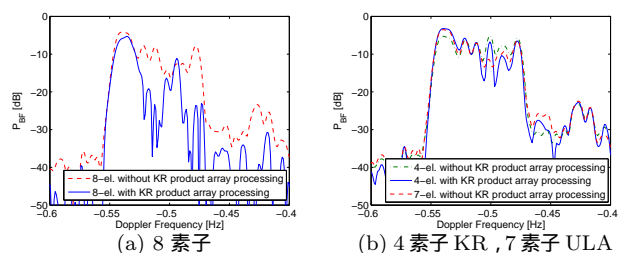


図 3 ドップラ周波数推定スペクトラム (対象角度: 11°)