

最尤規範独立成分分析と MUSIC を併用した 超分解能レーダパルス圧縮法

Maximum Likelihood ICA-Based Super Resolution Pulse Compression Incorporated by MUSIC

岡野 哲大
Tetsuhiro Okano

木寺 正平
Shouhei Kidera

桐本 哲郎
Tetsuo Kirimoto

電気通信大学 大学院情報理工学研究科
Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications

1 はじめに

超分解能レーダパルス圧縮法として、MUSIC(Multiple Signal Classification) を応用する手法が提案されている [1]. しかし、同手法は低 SNR 環境下かつ相関性干渉波が複数混在する場合に分解能及び推定精度が劣化する. 同問題を解決するため、本稿では、複素正弦波分離に特化した最尤規範独立成分分析 [2] と MUSIC を併用するパルス圧縮法を提案する. 数値計算により、低 SNR において MUSIC による圧縮法に比べて複数の相関性干渉波が近接する場合にも超分解能到来時間分離性能が向上することを明らかにする.

2 システムモデル及び従来法

観測目標は複数の点散乱体とする. モノスタティックレーダを仮定する. 受信信号 $x(t)$ は、 $x(t) = \sum_{i=1}^L a_i s(t - \tau_i) + n(t)$ で表現されるとする. ただし、 a_i は受信強度、 τ_i は各散乱体からの到来時間、 L は到来波数、 $s(t)$ はチャープ変調された送信信号、 $n(t)$ は観測雑音である. 周波数伝達関数を $Z(\omega_i) = X(\omega_i)/S(\omega_i)$ ($i = 1, \dots, N$) と定義する. ただし、 $X(\omega)$ 、 $S(\omega)$ は $x(t)$ 、 $s(t)$ のフーリエ変換である. MUSIC は次式で示す出力の極大値から到来時間を推定する.

$$y_{\text{music}}(t) = \frac{\mathbf{a}^H(t)\mathbf{a}(t)}{\mathbf{a}^H(t)\mathbf{E}_n\mathbf{E}_n^H\mathbf{a}(t)} \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{a}(t) = [\exp(-j\omega_1 t), \dots, \exp(-j\omega_M t)]^T$ である. 相関行列を $\mathbf{R} = \sum_{n=1}^{N-M+1} \mathbf{Z}_n \mathbf{Z}_n^H$ で求め、同固有ベクトルを並べた行列を $\mathbf{E}_n$ とする. ただし、 $\mathbf{Z}_n = [Z(\omega_n), \dots, Z(\omega_{n+M-1})]^T$ であり、 H は共役転置である. 同手法では、上記の周波数平均により相関性干渉波が抑圧される場合には、高い分解能と精度を保持する. しかし、複数の相関性干渉波が近接する場合かつ低 SNR 環境では、同精度を保持することが困難となる.

3 提案法と性能評価

上記問題を解決するため、複素正弦波分離に特化した最尤規範独立成分分析 [2] を MUSIC に導入する. 周波数領域での複素正弦波分離により相関性干渉波を分離する. 周波数伝達関数 $Z(\omega)$ を分割し、擬似チャンネル $\mathbf{Z}(\omega)$ を構成する. 最尤規範独立成分分析により分離行列 $\mathbf{W}$ を決定し、 $\mathbf{Z}_s(\omega) = \mathbf{W}\mathbf{Z}(\omega)$ を得る. $\mathbf{Z}_s(\omega)$ の各チャンネルに MUSIC を適用する. 同出力の極大値により到来時間推定を行う.

図 1 に各手法の到来時間推定例を示す. $L = 3$ とし、到来時間は $\tau_1 = 499.975\Delta\tau$, $\tau_2 = \tau_1 + 0.75\Delta\tau$, $\tau_3 = \tau_2 + 0.75\Delta\tau$ とする. ただし、 $\Delta\tau$ は送信信号の帯域で決まる時間分解能である. 同図より、従来法では、相関性干渉波の抑圧が不十分なために分解能が劣化することがわかる. 一方、提案法では最尤規範独立成分分析処理により各相関性干渉波が抑圧されることがわかる. 図 2 に各手法の SNR に対する到来時間推定誤差結果を示す. ただし、到来時間推定誤差 ϵ を $\epsilon = \sum_{i=1}^L \min_j |\tau_i - \hat{\tau}_j|/L$ と定義する. ただし、 $\hat{\tau}_j$ は到来時間推定値である. 同図より $\text{SNR} \leq 22$ dB において、提案法の到来時間推定精度は MUSIC より高くなることが確認できる.

4 むすび

本稿では、最尤規範独立成分分析と MUSIC を併用した超分解能到来時間推定法を提案し、その有効性を数値計算で示した.

参考文献

- [1] H. Nakahara, N. Kikuma and N. Inagaki, Proc. of ISAP 1996, Vol.4, pp.1085-1088, 1996.
- [2] 岡野哲大, 木寺正平, 桐本哲郎, 電子情報通信学会 総大会, B-2-22, Mar., 2011.

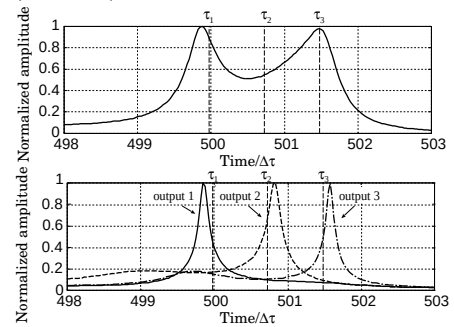


図 1 従来法 (上) と提案法 (下) の出力波形 (SNR=20dB)

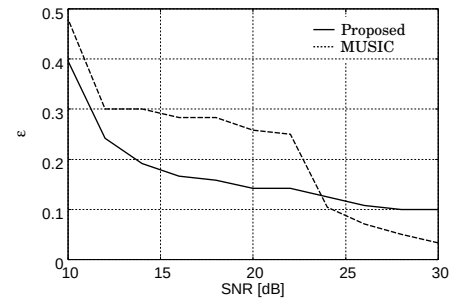


図 2 各手法における到来時間推定誤差