

전자전 환경에서 EMD를 이용한 잡음제거기법의 성능 분석

이유리, 김동규, 김요한, *김산해, 김형남[Ⓢ]
부산대학교 전자전기공학부, *국방과학연구소
[Ⓢ]hnkim@pusan.ac.kr

Performance Analysis of Denoising Method Using Empirical Mode Decomposition in Electronic Warfare

Yu-Ri Lee, Dong-Gyu Kim, Yo-Han Kim, *Sanhae Kim, and Hyoung-Nam Kim[Ⓢ]
Department of Electronics Engineering of Pusan National University,
*Agency for Defense Development

Abstract

전자전에서 정확하고 빠르게 적군의 위협을 감지하기 위해서 신호의 파워가 잡음의 파워보다 낮은 미약 신호 환경을 고려해야 한다. 하지만 이러한 경우에 수동탐지 상황에서 기존의 방식으로 적군의 레이더 제원을 추정하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 미약 신호 환경에서 EMD (empirical mode decomposition)를 이용한 잡음제거 기법을 적용하여 신호의 SNR (signal to noise power ratio)을 높이는 방식을 제시하고, 무변조 (unmodulation) 신호에 대한 잡음제거 성능을 SNR에 따른 RMSE (root mean square error)로 분석하였다. EMD를 이용한 잡음제거 시에 0 dB 이하의 잡음도 효과적으로 제거되는 것을 확인하였고, 경성 임계화 (hard thresholding) 방식을 사용하는 것이 효과적임을 보인다.

I. 서론

전시에 군사작전을 효과적으로 지원하기 위해 적군의 통신 및 비통신 장비로부터 의도적 또는 비의도적으로 방사되는 전파를 수신, 분석, 식별하는 전자전 지원 (Electronic warfare Support) 활동이 필수적이다. 이를 통해 획득된 적군의 제원 정보를 바탕으로 위협을 판

단하고, 방어 체계를 구축할 수 있기 때문이다[1].

또한, 현대전에서는 보다 정확하고 빠르게 적군의 위협을 감지하기 위해서는 아군의 전자전 시스템의 탐지거리가 적 레이더보다 길어야 하고, 전력 제어 기능을 가진 적의 저피탐 레이더를 탐지할 수 있어야 한다. 그러므로 신호의 전력이 잡음의 전력보다 낮은 0 dB 이하의 미약신호 환경을 고려해야 한다.

미약신호 환경에서 전자전 수동탐지 상황을 기반으로 신호원의 제원을 추정하기 위해 웨이블릿을 이용한 잡음제거기법에 관한 논문이 있지만[2], 웨이블릿 모함수를 기저함수로 이용하여 신호를 분해하므로 입력 데이터와 패턴이 일치하지 않을 경우에 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기저함수에 의존하지 않는 EMD (empirical mode decomposition)를 이용한 잡음제거기법을 적용하였을 때 무변조 (unmodulation) 신호에 대한 잡음제거 성능을 SNR (signal to noise power ratio)에 따른 RMSE (root mean square error)를 이용하여 분석한다.

II. EMD를 이용한 잡음제거기법

EMD는 웨이블릿 분해와 달리 특정 기저함수를 사용하지 않고 신호 내에서 고유의 성분들을 분석해내는 방법이다. 실제 사용되는 신호는 보통 매 시간마다 여러 개의 주파수 성분을 가지고 있는데, 이 기법은 이

러한 신호를 매 시간마다 하나의 주파수 성분만을 가지는 monocomponent 신호들로 분해한다. 이는 기존의 주파수 분석 방법보다 더 정확한 순시 주파수 (instantaneous frequency) 정보를 얻어내 비정상성 (non-stationary) 및 비선형성 (non-linearity)을 갖는 신호 분석에 적합하다[3]. monocomponent 신호는 극점의 개수가 영을 지나는 횟수와 같고, 영을 중심으로 지역(local) 극대와 지역 극소가 위 아래로 위치되어야 한다[3]. EMD는 이러한 신호를 intrinsic mode function (IMF) 이라고 정의하고, 입력신호 $x(t)$ 를 여러 개의 IMF들로 분해하는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$x(t) = \sum_{i=1}^N IMF_i(t) + r(t) \quad (1)$$

여기서 i 는 분해된 IMF의 인덱스 (index)를 의미하며, 총 N 개의 IMF가 존재한다. 그리고 $r(t)$ 는 모든 IMF를 분해하고 남은 잔여 신호 (residual signal)이다.

이렇게 분해된 신호는 각 IMF마다 임계값 (threshold)을 정하여 이보다 작은 크기를 가지는 값은 제거하여 존재하는 Gaussian 잡음을 제거할 수 있다. 이러한 임계값 τ_i 는 참고문헌 [4]와 같이 정의할 수 있고, 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \tau_i &= \sigma_i \sqrt{2 \ln T} \\ \sigma_i &= MAD_i / 0.6745 \\ MAD_i &= Median\{|IMF_i(t) - Median\{IMF_i(t)\}|\} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 σ_i 는 i 번째 IMF의 잡음 정도를 추정된 값을 의미하며, MAD_i 는 중앙 편차의 절대값을 나타낸다. 또한, 이러한 시계열 신호에 임계값을 적용하는 방법으로는 크게 경성 임계화 (hard thresholding), 연성 임계화 (soft thresholding), 혼성 임계화 (Hybrid thresholding) 로 나뉘며, 각각 식 (3), (4), (5)와 같다.

$$h_i(t) = \begin{cases} IMF_i(t), & |IMF_i(t)| > \tau_i \\ 0, & |IMF_i(t)| \leq \tau_i \end{cases} \quad (3)$$

$$h_i(t) = \begin{cases} sgn(IMF_i(t))(|IMF_i(t) - \tau_i|), & |IMF_i(t)| > \tau_i \\ 0, & |IMF_i(t)| \leq \tau_i \end{cases} \quad (4)$$

$$h_i(t) = \begin{cases} IMF_i(t) \frac{|IMF_i(t)|^\alpha - \tau_i^\alpha}{|IMF_i(t)|^\alpha}, & |IMF_i(t)| > \tau_i \\ 0, & |IMF_i(t)| \leq \tau_i \end{cases} \quad (5)$$

여기서 $h_i(t)$ 는 i 번째 IMF에서 잡음이 제거된 신호이며, α 는 경성 임계화와 연성 임계화의 혼성화 정도를

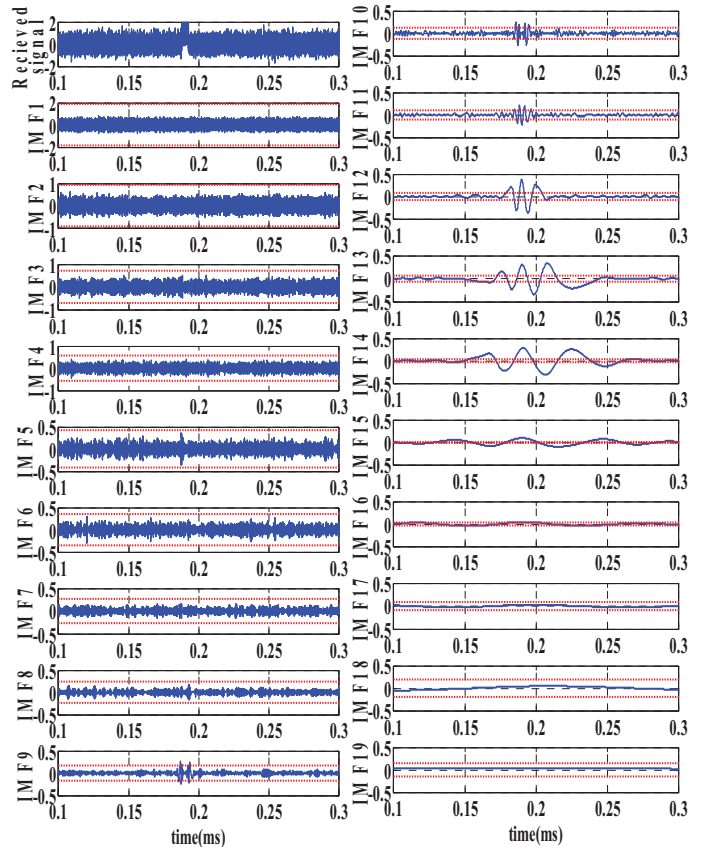


그림 1. 3dB의 AWGN 잡음이 포함된 수신 신호와 IMF로 분해된 신호.

나타내고 $\alpha=1$ 이면 경성 임계화와 같고 $\alpha=\infty$ 이면 연성 임계화와 같다. 최종적으로 입력신호에서 EMD를 이용해 잡음이 제거된 신호 $\tilde{x}(t)$ 는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{x}(t) = \sum_{i=1}^N h_i(t) \quad (5)$$

III. 모의실험 환경 및 결과

본 논문에서는 미약 신호의 제원을 검출하기 위해서 EMD를 이용한 잡음제거기법을 전자전 시스템에 적용하여 SNR에 대한 RMSE를 분석했다. 본 논문에서의 SNR은 전체 신호가 아닌 한 펄스폭의 신호와 잡음의 전력비를 의미한다. 사용된 신호는 샘플링주파수가 160 MHz이고, 펄스폭이 5 us, 전체 신호 길이가 690 us인 무변조 신호이다. 이러한 파라미터는 전자전 상황에 부합하는 상세 사항을 정하기 위해 참고 문헌 [5]를 참고하였다.

그림 1은 3 dB의 AWGN (additive white Gaussian noise) 잡음 환경의 무변조 신호에 EMD를 적용하였을

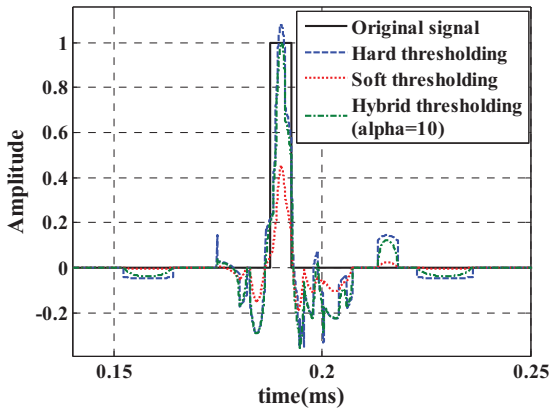


그림 2. -3dB의 AWGN이 제거된 신호와 원신호.

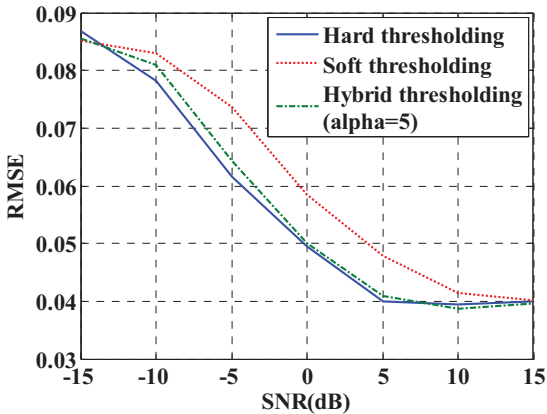


그림 3. AWGN 환경에서 무변조 신호에 대한 EMD 잡음제거기법의 RMSE 성능.

때 분해된 신호를 나타내고, 빨간 점선은 각 IMF의 잡음제거 임계값을 의미한다. 1~8번째의 IMF는 주파수가 높은 잡음 신호만을 가지는 것을 확인할 수 있고, 9~15번째의 IMF가 원신호를 포함하는 것을 알 수 있다. 그림 2는 -3 dB의 AWGN을 가지는 미약 신호 환경에서 잡음이 제거된 신호를 나타내며 원신호와 유사한 것을 확인할 수 있다. 여기서 경성 임계화 방식은 신호의 정보를 크게 잃지 않았지만 상대적으로 잡음이 남아 있고, 연성 임계화 방식은 상대적으로 잡음이 적지만 신호의 정보를 잃었으며, 혼성 임계화 방식은 신호의 정보를 크게 잃지 않으면서 잡음 정도도 경성 임계화 방식보다 적은 것을 확인할 수 있다. 그림 3은 AWGN 환경에서 무변조 신호에 대하여 각 SNR에서의 EMD 잡음제거기법의 성능을 100번의 반복 모의실험을 통해 앙상블 (ensemble) 평균한 RMSE로 나타냈다. 그림 3에서 경성, 연성, 혼성 임계화 방식으로 잡음이 제거된 신호의 RMSE 값은 모두 0.04로 수렴하며, 경성 임계화 방식이 연성, 혼성 임계화보다 더

좋은 성능을 가짐을 볼 수 있다.

이는 시계열 신호에 연성, 혼성 임계화를 적용했을 경우에 식 (4),(5)와 같이 남아있는 신호의 크기가 임계값 τ_i 또는 임계값에 비례하는 값만큼 줄어들어 잡음제거에는 효과적이거나 신호 정보도 함께 제거되어 RMSE 성능이 열화된다. 이에 반해, 경성 임계화 방식을 적용했을 경우에는 잡음제거 효과는 적지만 원신호 왜곡이 없기 때문에 RMSE 성능이 가장 좋다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 미약신호 환경에서 신호원의 제원을 추정하기 위해 EMD 잡음제거기법을 적용함으로써 0 dB 이하의 AWGN이 포함된 무변조 신호에서 잡음이 효과적으로 제거되는 것을 확인하였다. 또한, 전자전에서 사용되는 무변조 신호는 잡음제거 시에 연성, 혼성 임계화 방식보다 경성 임계화 방식을 적용함으로써 방사된 원신호와 더 가까운 신호를 얻을 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 EMD를 이용해 잡음이 제거된 전자전 신호로부터 방사 레이더의 제원 추정 성능을 분석하는 연구에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 박창권, “해외주둔 미군 재배치 계획의 전략적 의미,” 함장 제 24호, pp. 43-52.
- [2] O.A. M. Aly, et. al. “Detection and localization of RF radar pulses in noise environments using wavelet packet transform and higher order statistics”, *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 58, pp.301-317, 2006.
- [3] N.E. Huang, et. al. “The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis”, *in proceedings of the Royal Society A*, vol. 454, pp.903-995, 1998.
- [4] D. L. Donoho, et. al. “Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage“, *Biometrika*, vol. 81, pp. 425-455, 1994.
- [5] Tsui James, “Digital techniques for wideband receivers,” SciTech Publishing, 2004.