

전자전 지원을 위한 고차 통계치 기반 웨이블릿 잡음제거기법을 이용한 펄스 세기 추정 기법

이유리, 김동규, 강인웅, *곽현규, 김형남[Ⓞ]

부산대학교, *국방과학연구소

hnkim@pusan.ac.kr[Ⓞ]

Pulse-Amplitude Estimation using High Order Statistic Wavelet Denoising in Electronic Warfare Support

Lee Yu-Ri, Kim Dong-Gyu, Kang In-Woong, Kwak Hyungyu and Kim Hyoung-Nam*

Pusan National Univ., *Agency for Defense Development

요약

본 논문에서는 전자전 환경에서 혼재되어 들어오는 신호들을 분리하거나 적군의 거리 추정에 필요한 신호제원인 펄스 세기 추정에 관한 연구 결과를 제시한다. 모의실험을 통해 고차 통계치 기반 웨이블릿 잡음제거 기법을 이용한 제안하는 펄스 세기 추정 기법이 기존의 펄스 추정 기법보다 미약 신호 환경에서 우수한 추정 성능을 가지는 것을 확인하였다.

I. 서론

현대전에서 보다 정확하고 빠르게 적군의 위협을 감지하기 위해서는 아군의 레이더 탐지거리가 적 레이더보다 길어야 하고, 전력 제어 기능을 가진 적의 저피탐 레이더를 탐지할 수 있어야 한다. 그러므로 신호의 전력이 매우 작은 미약신호 환경에서의 전자전 지원이 가능해야 한다.

전자전 지원은 적군이 송신하는 전파의 종류를 구분하고 식별하기 위해서 신호 제원 (pulse descriptive word)을 추정하여야 한다. 신호 제원의 종류로는 주파수, 펄스폭 (pulse width), 펄스 반복 주기 (pulse repetition interval), 펄스 세기 (pulse amplitude)가 있다[1]. 이 중 펄스 세기 정보는 적군의 거리 추정이나 혼재되어 들어오는 신호들의 분리 (deinterleaving) 시에 사용된다. 본 논문에서는 전자전 상황에서 고차 통계치 기반 웨이블릿 잡음제거기법을 이용해 미약신호 환경에서의 펄스 세기 추정 성능을 향상시키는 기법을 제안한다. 펄스 세기 추정은 펄스 폭 추정 오차에 영향을 받게 되는데, 제안하는 펄스 세기 추정 기법은 펄스 폭 추정 오차에 의해 발생할 수 있는 추정 신호 구간이 실제 펄스 폭보다 좁을 경우가 넓은 경우보다 펄스 세기 추정 성능 감소가 작다는 특성을 이용해 잡음제거기법으로 인한 펄스 폭 추정 구간을 좁혀 잡음제거기법을 효과적으로 적용 가능토록 하였다.

II. 제안하는 펄스 세기 추정 방법

제안하는 펄스 세기 추정 방법은 미약 신호 환경에서 높은 추정 성능을 가지는 것을 목표로 하여 그림 1과 같이 고차 통계치 기반 웨이블릿 잡음제거 기법을 적용하고 이로 인해 발생하는 펄스 폭 왜곡을 보정하여 펄스 세기를 추정 방법이다.

1. 고차 통계치 기반 웨이블릿 잡음제거 기법[2]

웨이블릿 분해 (wavelet decomposition)는 연속적인 입력 신호의 시간-주파수 분석 방법으로 비정상 (non-stationary) 신호를 분석하기에 적합한 방식이다. 웨이블릿 패킷 분해 (wavelet packet decomposition)는 웨이블릿 분해를 일반화시킨 방법으로, 저대역만을 반복적으로 분해하는 웨이블릿 분해와 달리, 고대역도 반복적으로 분해하여 m 레벨로 분해할 경우 총 2^m 개의 서브밴드 (subband)를 바탕으로 하는 트리구조를 가진다.

가우시안 잡음의 웨이블릿 계수는 선형 웨이블릿을 적용할 때 가우시안을 유지하게 되고[3], 신호가 존재하는 구간에서는 비가우시안 (non-Gaussian) 계수가 주어진다. 그러므로 가우시안 신호임을 확인할 수 있는 고차 통계치를 이용해 각 패킷 별로 신호가 존재하지 않는 구간을 찾아 잡음을 제거한다. 신호를 분석하는 방법으로 사용되는 고차 통계치

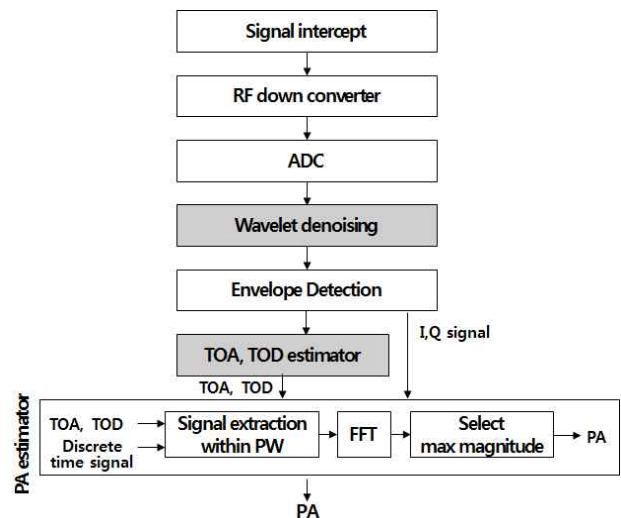


그림 1. 제안하는 펄스 세기 추정 방법.

중에서 정규화된 4차 누적률 (첨도, kurtosis) \hat{K}_4 은 식 (1)과 같이 추정할 수 있고, $w[n]$ 이 가우시안 (Gaussian) 특성을 가지는 신호일 경우 이론적으로 0의 값을 가진다.

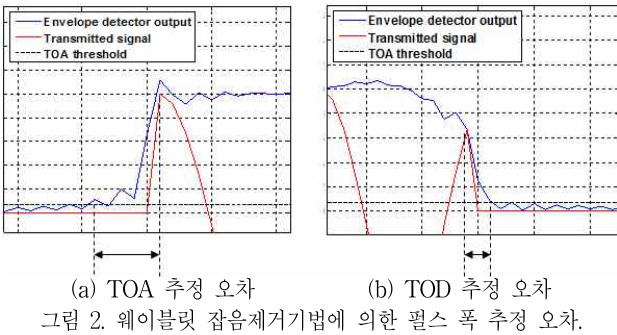
$$\hat{K}_4 = M \frac{\sum_{n=1}^M (w[n])^4}{\left(\sum_{n=1}^M (w[n])^2 \right)^2} - 3 \quad (1)$$

여기서 M 은 한 패킷의 웨이블릿 계수 $w[n]$ 의 총 샘플 수를 나타낸다. 허용된 가우시안 추정 신뢰도 백분율 값 α 를 가지는 Bienymé-Tchebychev 부등식[4]를 이용해 식 (2)가 성립한다면 가우시안임을 확인한다.

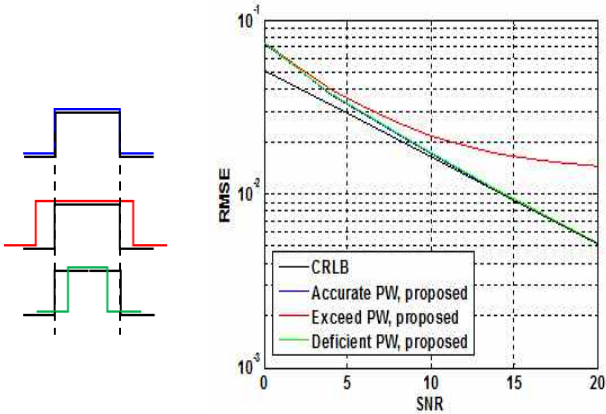
$$|\hat{K}_4| < \sqrt{24/M} / \sqrt{1-\alpha} \quad (2)$$

각 패킷 별로 웨이블릿 계수에 대한 첨도를 추정하고, 식 (2)의 우변에서 구해지는 값을 임계값 (threshold)으로 정하여 식 (2)를 만족하면 가우시안이라 결정하여 해당 패킷의 웨이블릿 계수를 0으로 만들어 잡음을 제거한다. 본 논문에서는 $\alpha = 90\%$ 로 고정하였다.

위와 같은 과정을 거치고 신호가 남아 있는 패킷이 있을 경우에는 해당



(a) TOA 추정 오차 (b) TOD 추정 오차
 그림 2. 웨이블릿 잡음제거기법에 의한 펄스 폭 추정 오차.



(a) 펄스폭 추정 오차종류 (b) 펄스 세기 추정 성능
 그림 3. 펄스 폭 추정 오차에 따른 펄스 세기 추정 성능.

패킷의 웨이블릿 계수 중에서 식 (3)과 같이 임계값보다 작은 계수들은 0으로 만들어 잡음을 제거한다[5].

$$\lambda_s = \sigma_s \sqrt{2 \log(N)} \quad (3)$$

여기서 $\sigma_s = \text{Median}[|w[n]|]/0.6745$ 의 값을 가진다. 이와 같은 2단계 과정을 통해 잡음 성분이 제거된 웨이블릿 계수로부터 신호를 복원하여 시간 영역에서 잡음이 제거된 신호를 얻을 수 있다.

2. 추정된 펄스 폭(pulse width) 보정을 통한 펄스 세기 추정

기존의 펄스 세기 추정 방식은 이전 단계에서 추정된 펄스 폭에 해당하는 신호를 푸리에 변환한 후에 주파수 영역으로 변환된 신호 세기의 최댓값을 수신된 펄스 신호의 세기로 추정을 한다[6]. 하지만 II.1절과 같은 웨이블릿 잡음제거 기법을 적용하게 되면 신호 정보가 제거될 수 있고, 이로 인해 그림 2와 같이 펄스 폭 추정 시 왜곡이 발생하게 된다.

기존의 펄스 세기 추정 방식은 그림 3과 같이 펄스 폭 추정 오차에 따라 펄스 세기 추정 성능이 달라진다. 그림 3(a)에서 검정색 펄스는 원 신호를 나타내고, 파란색은 펄스 폭을 정확히 추정한 경우, 빨간색은 펄스 폭보다 넓게 추정된 경우, 초록색은 펄스 폭보다 좁게 추정된 경우를 나타낸다. 그림 3(b)는 각 경우로 펄스가 추정되었을 때의 펄스 세기 추정 결과를 나타낸다. 이와 같이 펄스 폭이 실제 펄스 폭보다 좁게 추정되었을 경우가 넓게 추정되었을 경우에 비해 성능 왜곡이 작은 것을 확인할 수 있다. 따라서 잡음제거 후에 추정된 펄스 폭보다 좁게 보정된 펄스 폭을 이용하여 펄스 세기를 추정한다.

III. 모의실험 결과

모의실험에서는 다음과 같은 환경에서 진행되었다. 표 1은 단일 변조 신호 생성을 위해 모의실험에서 사용한 파라미터이다. 웨이블릿 패킷 분해를 위해 Daubechies wavelets (db3) 기저함수를 사용하였고, 분해 깊이(depth)를 4로 고정했다. 본 논문에서 사용되는 SNR (signal-to-noise ratio)은 펄스폭 내에서의 신호 대 잡음비를 의미한다. 또한 정확한 성능 확인을 위해 같은 조건의 모의실험을 1000번 반복하여 성능을 분석하였다. 펄스 폭 보정 정도는 모든 SNR에서 50샘플로 고정하였다.

표 1. 단일 변조 신호를 생성하기 위한 파라미터.

파라미터	상세 사항
샘플링주파수	300 MHz
반송주파수	20 MHz
펄스폭	5 μ s
전체신호길이	30 μ s
변조 방식	UM (unmodulation)

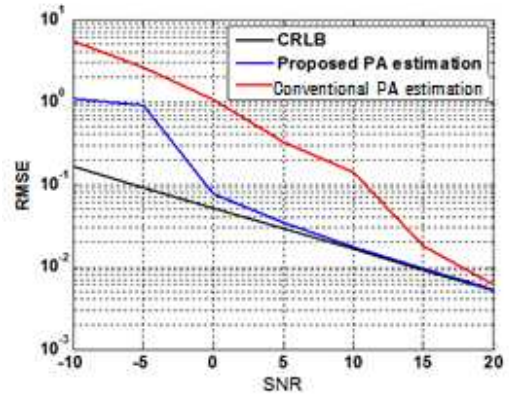


그림 3. 펄스 세기 추정 성능 비교.

그림 4는 SNR에 따른 제안하는 방식과 기존의 펄스 세기 추정 방식의 성능을 RMSE(root mean square error)로 비교한 결과이다. 기존의 펄스 세기 추정 방식은 SNR이 약 15dB일 때 최적 성능을 나타내는 CRLB (Cramér-Rao lower bound)와 유사해지는 반면에 제안하는 펄스 세기 추정 방식은 약 0dB일 때 CRLB와 유사해지는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 전자전 수동 탐지 환경에서 미약 신호 탐지를 위한 잡음 제거기법을 적용한 펄스 세기 추정 기법을 제안하였다. 펄스 폭 추정 오차에 의해 발생할 수 있는 추정 신호 구간이 실제 펄스 폭보다 좁을 경우에 펄스 세기 추정 왜곡이 작은 특성을 이용해 웨이블릿 잡음제거로 인한 신호 왜곡에 의해 발생하는 펄스 폭 추정 오차를 극복하여 미약 신호에서의 펄스 세기 추정 성능을 개선시켰다. 이러한 향상된 펄스 세기 추정 결과는 적군의 전파를 식별하는 데 기여할 수 있을 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행하였습니다. (과제명: 미약신호 탐지 기술 연구, 계약번호 UD150003ED)

참고 문헌

- [1] W. A. Mahmoud, et. al. "Radar parameter generation to identify the target," *Journal of Engineering*, Vol. 17, no. 1, pp. 173-185, Feb. 2011.
- [2] N. Ehara, et. al. "Weak radar signal detection based on wavelet transform," *IEEE International Conference on ICASSP-94*, Vol. 2, 1994.
- [3] Childers, G., *Probability and Random Processes*, McGraw-Hill, Inc. 1997.
- [4] Ravier, P., et. al. "Wavelet packets and denoising based on higher-order-statistics for transient detection," *Signal Processing*, vol. 81, no. 9, pp. 1909-1926, Aug. 2001.
- [5] Abbate, C. M. and P. K. Das, *Wavelets and Subbands Fundamentals and Applications*, Birkh"auser Bosten, 2002.
- [6] Udaya kumar, N, et. al. "Deinterleaving of radar signals and its parameter estimation in EW environment," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, no. 9, pp. 490-494, Sep. 2014.