

전자전 환경에서 단일 변조 신호에 대한 웨이블릿 패킷 잡음제거기법의 성능 분석

이유리, 김동규, 김요한, 김산해*, 김형남[Ⓞ]

부산대학교, *국방과학연구소

[Ⓞ]hnkim@pusan.ac.kr

Performance analysis of wavelet packet denoising for single modulated signals in electronic warfare

Lee Yu-Ri, Kim Dong-Gyu, Kim Yo-Han, Kim Sanhae*, Kim Hyoung-Nam[Ⓞ]

Pusan National University, *Agency for defense development

요 약

전자전에서 정확하고 빠르게 적군의 위협을 감지하기 위해서는 아군의 전자전 지원 장비의 탐지거리가 적 레이더보다 길어야 하고 파워 제어 기능을 가진 적의 저피탐 레이더 탐지가 가능해야 하기 때문에, 신호의 파워가 잡음의 파워보다 낮은 0 dB 이하의 미약신호 환경을 고려해야 한다. 또한 동시에 운용되는 레이더 시스템의 수가 급격히 증가하였고, 피탐 확률을 낮추기 위하여 다양한 아날로그 및 디지털 변조 방식을 사용하는 레이더가 개발됨에 따라, 각 변조방식에 대한 효율적인 탐지가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 AWGN (additive white gaussian noise) 환경에서 웨이블릿 패킷 분해를 이용한 잡음제거 기법을 적용하였을 때 다양한 단일 변조 신호에 대한 잡음 제거 성능을 SNR (signal to noise power ratio)에 따른 RMSE (root mean square error)를 이용해 분석하여 변조 방식에 따라 성능 차이가 있음을 확인하였다.

I. 서론

과학과 기술의 발전에 따라 현대전은 공격과 방어의 우위를 확보하기 위해 전자적 수단의 군사 활동인 전자전이 전쟁의 승패를 좌우하는 매우 중요한 요인이 되고 있다[1]. 전자전 기술은 사용 목적에 따라 전자 공격 (EA: Electronic warfare Attack), 전자 보호 (EP: Electronic warfare Protect), 전자 지원 (ES: Electronic warfare Support) 기술로 구분된다. 이 중 전자전 지원은 아군의 군사작전을 지원하기 위해 적군의 통신 및 비통신 장비로부터 의도적 또는 비의도적으로 방사되는 전파를 수신, 분석, 식별하는 제반 활동을 의미한다. 이를 통해 획득된 정보는 위협을 판단하여 자체방어를 위한 EP 기술이나 전술적 용도의 탐색과 전략무기체계를 위한 EA 기술 개발에 중요한 자료가 되므로, 현대전에서 성공적인 전자전 수행을 위해서는 전자전 지원이 필수적이다[2].

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 잡음의 전력보다 낮은 0 dB 이하의 미약신호 환경을 고려해야 한다. 또한 동시에 운용되는 레이더 시스템의 수가 급격히 증가하고 있고, 피탐 확률을 낮추기 위하여 다양한 아날로그 및 디지털 변조 방식을 사용하는 레이더가 개발됨에 따라[3], 각 변조방식에 대한 효율적인 탐지가 필요하다.

이를 위해 본 논문에서는 미약신호 환경에서 레이더의 수동탐지 상황을 기반으로 신호원의 제원을 추정하기 위해 웨이블릿 패킷 분해를 이용한 잡음제거 기법을 적용하였을 때 다양한 변조 신호에 대한 잡음 제거 성능을 SNR (signal to noise power ratio)에 따른 RMSE (root mean square error)를 이용하여 분석한다.

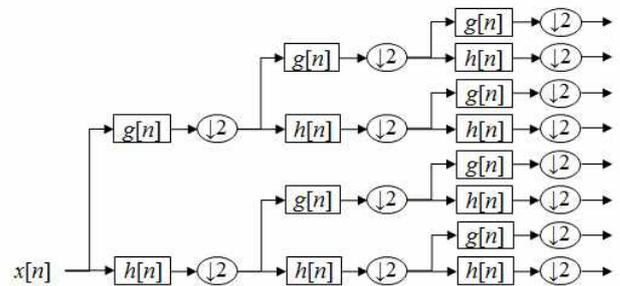


그림 1. 3레벨 웨이블릿 패킷 분해.

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, 그림 1과 같이 고대역도 반복적으로 분해하여 m 레벨로 분해할 경우 총 2^m 개의 서브밴드 (subband)를 바탕으로 하는 트리구조를 가진다. 그림 1의 $h[n]$ 은 저역통과필터, $g[n]$ 은 고역통과필터를 의미하며, 각 필터로부터 근사 성분 (approximation coefficient)과 상세 성분 (detail coefficient)을 구할 수 있다.

웨이블릿 패킷 변환을 이용한 잡음 제거 방식은 구해지는 웨이블릿 계수 중에서 적절한 임계값 (threshold)보다 작은 값들은 잡음에 해당한다고 가정하여 이를 식 (1)과 같이 제거한 계수를 바탕으로 신호를 복원하는 원리이다.

$$w(i) = \begin{cases} w(i), & |w(i)| > \delta \\ 0, & |w(i)| \leq \delta \end{cases} \quad (1)$$

여기서, w 와 i 는 각 서브밴드의 성분 값과 그 인덱스 (index)를 의미하고, δ 는 임계값을 의미한다. 이 기법은 트리의 가장 하위 서브밴드부터 시작

II. 웨이블릿 패킷 분해를 이용한 잡음 제거 기법[4,5]

웨이블릿 분해 (wavelet decomposition)는 연속적인 입력 신호의 시간-

표 1. 단일 변조 신호를 생성하기 위한 파라미터.

파라미터	상세 사항
샘플링주파수	100 MHz
Offset주파수	0 Hz
펄스폭	10 μ s
펄스반복주기	100 μ s
전체신호길이	1 ms
변조 방식	UM (unmodulation)
	LFM (linear frequency modulation)
	NLFM (nonlinear FM)
	3-FSK (frequency shift keying)
주파수 편차	4-PSK (phase shift keying)
	LFM, NLFM, FSK의 경우: 10MHz
심볼 길이	FSK, PSK의 경우: 펄스폭/M
	(M = 심볼 개수)

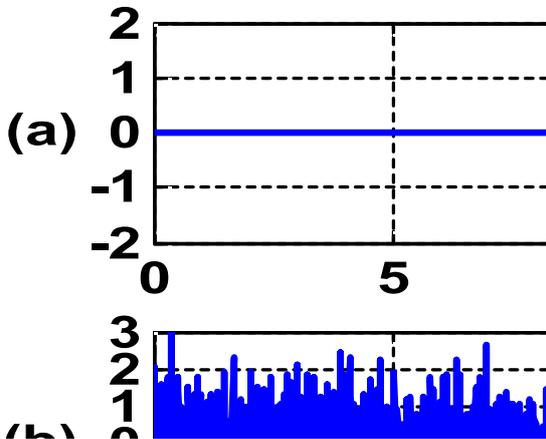


그림 2. (a) UM 원 신호, (b) AWGN 환경에서의 신호 (SNR=-1dB), (c) 웨이블릿 패킷 분해를 이용한 잡음 제거 기법이 적용된 신호.

하며, 근사 성분에서 이러한 기법을 적용하면 잡음을 더 많이 제거할 수 있지만 유용한 정보가 제거되기 때문에, 각 레벨의 상세 성분에서만 잡음을 제거한다.

III. 모의실험 환경 및 결과

본 논문에서는 미약 신호의 검출을 위해서 웨이블릿 패킷 분해를 이용한 잡음 제거 기법을 전자전 시스템에 적용하였고, 다양한 레이다 신호를 고려하여 다양한 변조 방식에서 성능을 분석했다. 표 1은 단일 변조 신호 생성을 위해 모의실험에서 사용한 파라미터로, 전자전 상황에 부합하는 상세 사항을 정하기 위해 참고 문헌 [6]을 참고하였다. 모의실험에서는 웨이블릿 패킷 분해를 위해 Daubechies wavelets (db9) 기저함수를 사용하였고, 분해 깊이 (depth)를 5로 고정했다. 또한 잡음제거를 위한 임계값은 MATLAB에 내장된 함수인 'rigrsure' 를 사용하여 정했다.

그림 2는 미약신호 환경인 -1 dB의 AWGN 잡음 환경의 unmodulated (UM) 신호에 웨이블릿 패킷 잡음 제거 기법을 적용하였을 때의 효과를 나타낸다. 본 논문에서의 SNR은 펄스반복주기를 가지는 전체 신호가 아닌 한 펄스폭의 신호와 잡음의 전력 비를 의미한다. 그림 2(b)와 (c)를 비교하면 전체 신호에서 잡음이 확연히 줄어든 것을 알 수 있다. 그림 3은 AWGN 환경에서 다양한 단일 변조 신호에 대하여 각 SNR에서의 웨이블릿 패킷 잡음제거기법의 성능을 500번의 반복 모의실험을 통해 앙상블 평균한 RMSE로 나타냈다. 그림 3에서 UM이 모든 SNR에서 가장 작은

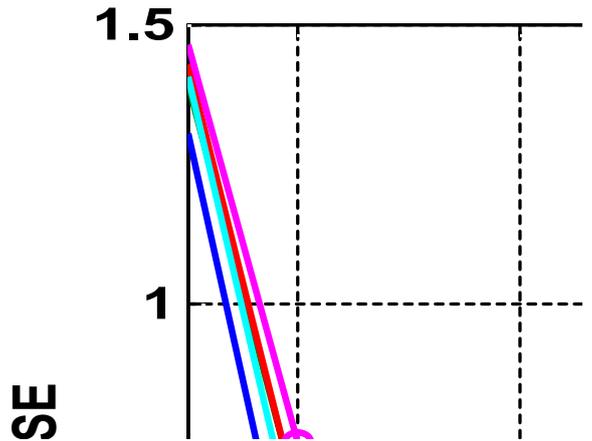


그림 3. AWGN 환경에서 단일 변조 신호의 SNR에 대한 웨이블릿 패킷 잡음제거기법의 RMSE 성능.

RMSE 값을 가지며 10 dB에서 약 0.06의 값을 가진다. LFM과 NLFM의 성능은 유사하며, 5 dB에서 약 0.47의 값을 가지면서 수렴한다. 3-FSK는 5 dB에서 약 0.37의 값을 가지며 수렴하고, 4-PSK에서는 모든 SNR에서 가장 큰 RMSE 값을 가지며 5 dB에서 0.63의 값으로 수렴한다. RMSE 값이 작을수록 웨이블릿 패킷 잡음제거 기법이 더 효과적임을 의미하므로, UM에서 다른 변조방식에 비해 잡음제거 기법의 성능이 효과적으로 나타남을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 전자전시스템을 이용해 신호원을 추정하기 위해 웨이블릿 패킷 분해를 이용한 잡음제거기법을 적용하였을 때 다양한 단일 변조 신호에 대한 잡음 제거 성능을 SNR에 따른 RMSE를 이용해 분석하였다. 이러한 연구는 추후의 신호원의 제원을 추정하기 위한 연구에 기여할 수 있을 것으로 기대되며, 잡음제거 과정에서 발생하는 원 신호와의 오차요소를 고려한 신호원의 제원 추정 연구가 필요할 것이다.

참고 문헌

- [1] 권태영, 정준일 박창권, "미래전 양상 연구," 한국전략문제연구소, 2004.
- [2] 박창권, "해위주둔 미군 재배치 계획의 전략적 의미," 함장 제 24호, pp. 43-52.
- [3] Denk Aytung. "Detection and jamming Low Probability of Intercept(LPI) RADAR," NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA, 2006.
- [4] Huether B. M., et al. "Wavelet preprocessing for high range resolution radar classification," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 37, no. 4, 2001, pp. 1321-1332.
- [5] Tikkanen P. E., "Nonlinear wavelet and wavelet packet denoising of electrocardiogram signal," Biological cybernetics, vol. 80, no. 4, 1999, pp. 259-267.
- [6] Tsui James, "Digital techniques for wideband receivers," SciTech Publishing, 2004.