

전자전에서 로지스틱 회귀를 이용한 미약신호 검출

방종현, 박도현, 김형남[©]

부산대학교

hnkim@pusan.ac.kr

Weak Signal Detection Using Logistic Regression in Electronic Warfare

Jong-Hyeon Bang, Do-Hyun Park, Hyoung-Nam Kim
Pusan National Univ.

요약

전자전 지원에서 위협 신호원에 대한 정보 수집은 아군의 신속한 전략 수립과 효과적인 대응책 마련을 위해 필수적으로 요구된다. 신호원에 대한 정보를 수집하기 위해선 신호 검출이 우선적으로 수행되어야 하지만, 수신되는 위협 신호원은 신호 대 잡음비가 0 dB 이하인 미약신호 환경이 대부분이므로 검출 성능이 저하되는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 미약신호의 검출 성능을 향상시키기 위해 기존 네이만-피어슨 기반의 검출 기법 두 가지를 특징으로 활용한 로지스틱 회귀 기반 검출기를 제안하고 성능을 비교 및 분석한다.

I. 서론

전자전 지원은 적군이 방사하는 다양한 변조 방식의 위협 신호원에 대한 위치 및 제원을 추정하고, 이를 기반으로 아군의 전략적 우위를 도모하는 역할을 수행하기 때문에 전자전에서 필수적인 요소로 꼽힌다[1][2]. 이러한 신호원에 대해 위치 및 제원을 추정하기 위해선 신호 검출이 선행되어야 하고, 신호 검출은 신호 가설 설정, 검증 통계치 생성, 임계값 설정 그리고 생성된 검증통계치와 임계값을 비교하여 가설을 검증하는 순으로 진행된다.

검출기는 검증통계치를 생성하는 방법에 따라 그 성능이 결정되며, 앞서 가중 에너지 검출기(weighted energy detector)와 상호 상관(cross correlation)을 이용한 검출기가 제안되었다[1][4]. 하지만 이러한 기존의 검출기들은 네이만-피어슨(Neyman-Pearson) 이론을 기반으로 고정된 오경보율(false alarm rate)에 대하여 1 차원의 검증통계치를 이용해 신호를 검출하는 방식이다.

따라서 본 논문에서는 검출 성능 향상을 위해 가중 에너지와 상호 상관 검출기의 검증통계치 두 가지를 특징으로 활용한 로지스틱 회귀 기반 검출기를 제안하고 기존의 각 검출기와 비교하여 분석한다.

II. 기존의 미약 신호 검출 기법

전자전에서 신호 가설은 신호 유무에 따라 아래 식 (1)과 같이 설정할 수 있다[3].

$$\begin{aligned} H_0 : x[n] &= w[n] & n &= 0, 1, \dots, N-1 \\ H_1 : x[n] &= s[n] + w[n] & n &= 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 H_0 는 가우시안 잡음인 $w[n]$ 만 존재하는 경우, H_1 은 신호 $s[n]$ 과 잡음이 존재하는 경우이며, N 은 수신 신호의 샘플 개수이다.

기존 에너지 검출기에서 검출 성능 향상을 위해 수신 안테나 두 개를 이용하여 잡음을 줄이면서, 에너지 검출기와 동일한 2 차 통계치를 사용하는 상호 상관

검출기가 제안되었다[1]. 두 신호 $x_1[n]$ 과 $x_2[n]$ 이 서로 다른 안테나에 수신될 경우 상호 상관 검출기의 검증통계치 T_{CC} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{CC}(x_1, x_2) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_1^*[n]x_2[n + \tau] \quad (2)$$

여기서 τ 는 두 신호 간의 시간 지연을 의미하며, 본 논문에서는 시간 지연이 0 이라고 가정하였다.

또한 에너지 검출기는 윈도우 길이와 수신 신호의 펄스 폭이 일치하지 않는 경우, 시간에 따른 검출기의 출력에서 첨두(peak)값이 발생하지 않아 성능 열화가 발생한다. 이에 대한 분석을 바탕으로 기존 에너지 검출기에 가중치를 곱함으로써 시간에 따른 검출기의 출력에서 첨두값이 나타나도록 만들어 검출 성능을 향상시키는 가중 에너지 검출기가 제안되었다[4]. 신호 $x[n]$ 이 수신되었을 때 가중 에너지 검출기의 검증통계치 T_{WED} 는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$T_{WED}(x) = \sum_{n=0}^{N-1} \alpha_n x^2[n], \quad \sum_{n=0}^{N-1} \alpha_n = N \quad (3)$$

여기서 α_n 은 가중치이며, 가중치 총 합을 N 으로 설정하여 기존 에너지 검출기와 동일한 잡음 정도를 포함할 수 있도록 하였다.

III. 로지스틱 회귀 기반 검출 기법

최근 많은 분야에서 기계학습(machine learning) 알고리즘을 적용하려는 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 기계학습에서 대표적인 이진 분류 알고리즘인 로지스틱 회귀(logistic regression)를 이용한 미약신호 탐지 기법을 제안한다. 로지스틱 회귀의 모델은 식 (4)와 같으며, 식 (5)의 로그 가능도(log likelihood)를 최대화하는 방향으로 가중치를 갱신하여 최적의 모델을 찾는다[5].

$$h_w(\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + e^{-\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}}} \quad (4)$$

$$\sum_j (y_j \log h_w(\mathbf{x}_j) + (1 - y_j) \log (1 - h_w(\mathbf{x}_j))) \quad (5)$$

여기서 \mathbf{w} 는 가중치, \mathbf{x} 는 입력 그리고 y 는 0 또는 1 인 범주를 의미하며, 입력으로 가중 에너지 검출기와 상호 상관 검출기의 검증통계치를 특징으로 가지는 2 차원 데이터를 사용하였다.

IV. 모의실험

본 장에서는 다양한 변조 방식의 신호에 대하여 기존 가중 에너지, 상호 상관 검출기에 대한 검출 성능과 제안하는 검출기의 검출 성능을 비교하고 분석한다. 펄스 폭에 따른 성능을 확인하기 위해 1, 2, 4, 8, 16 μ s 의 펄스 폭을 고려하였고, 단일 펄스 수신을 가정하였다. 이 때, 펄스 폭과 윈도우 길이는 동일하게 설정하였으며, 모든 SNR 구간에서 신호가 균등하게 입사한다고 가정하여 기존 검출기들과 제안하는 검출기의 오경보율을 10^{-3} 이 되도록 설정하였다. 또한 기존 검출기들의 각 SNR 당 반복 시행 횟수는 20,000 회, 샘플링 주파수는 160MHz, 수신 신호는 20MHz 의 중심 주파수를 가지는 구형파를 사용하여 모의실험을 진행하였다.

로지스틱 회귀 모델의 학습을 위해 펄스 폭마다 가중 에너지와 상호 상관의 검증통계치 두 가지를 특징으로 가지는 입력 데이터와 그에 따른 0 또는 1 인 값을 가지는 정답 데이터 60,000 쌍을 사용하였으며, 특징 데이터 생성시 SNR 은 -20dB와 0dB 사이에서 랜덤하게 생성하였다. 그리고 모델의 테스트를 위해 펄스 폭마다 SNR 당 5,000 개의 특징 데이터를 생성하여 테스트 데이터로 사용하였다. 또한 기존 검출기에서 펄스 폭과 윈도우 길이를 동일하게 설정하였으므로, 제안하는 검출기도 고려되는 5 개의 펄스 폭에 대하여 모델을 각각 생성하였다.

그 결과 제안하는 로지스틱 기반 미약신호 검출기는 동일한 탐지확률에서 가중 에너지 검출기보다 약 3dB 낮은 신호를 검출할 수 있음을 그림 1 에서 확인할 수 있으며, 상호 상관 검출기보다 약 0.5~1dB 낮은 신호를 검출할 수 있음을 그림 2 에서 확인할 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 전자전 지원에서 핵심적인 요소인 미약신호 검출의 성능을 향상시키기 위해서 기존 검출기들의 검증 통계치를 이용한 로지스틱 회귀 기반 검출기를 제안하였다. 제안한 검출기는 다양한 변조 방식 신호에 대하여 기존 검출기보다 동일한 탐지확률에서 SNR 이 더 낮은 신호를 검출할 수 있었다. 하지만 제안하는 기법의 경우 상호 상관 검출기와 가중 에너지 검출기의 연산량이 동시에 요구되기 때문에, 향후에는 실시간으로 미약 신호를 검출하기 위한 연산량 감소에 대한 연구를 수행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021R1F1A1060025)

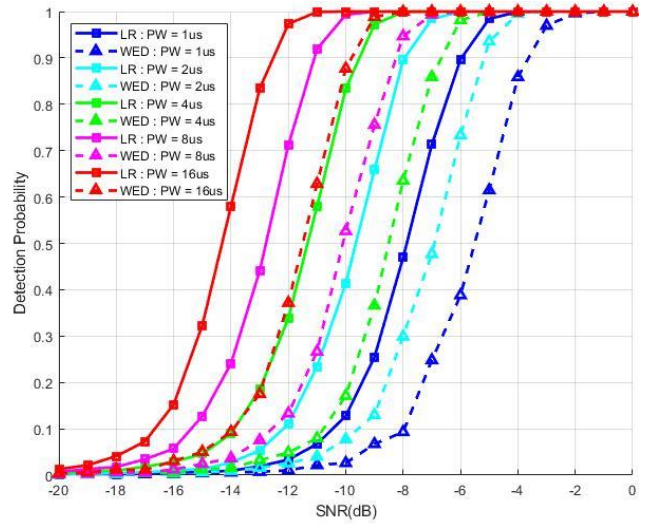


그림 1. 로지스틱 회귀 기반 검출기(LR)와 가중 에너지 검출기(WED)의 성능 비교

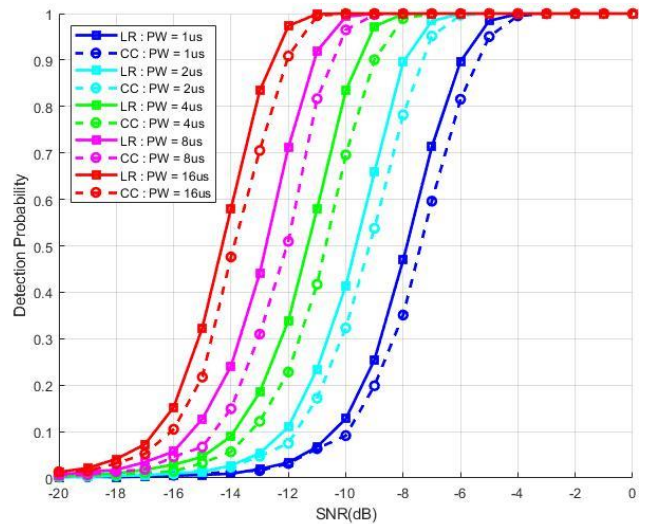


그림 2. 로지스틱 회귀 기반 검출기(LR)와 상호 상관 검출기(CC)의 성능 비교

참 고 문 헌

- [1] 김동규, 이유리, 송규하, 김형남, “전자전 미약신호 환경에서 미상 신호의 검출 성능 향상을 위한 상호상관(cross correlation)기법의 검출 성능 분석,” 2016년도 한국통신학회 하계종합학술대회 논문집, 제주, 2016년 6월, pp.375-376.
- [2] Philip E. Pace, *Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar*, Artech House Remote Sensing, 2003
- [3] S Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing Detection Theory*, Prentice-Hall, 1993
- [4] 김동규, 김요한, 이유리, 장충수, 김형남, “전자전 미약신호 환경에서 미상 위협 신호원의 검출 성능 향상을 위한 가중 에너지 검출 기법,” 한국통신학회논문지, vol. 42, no. 3, pp.639-648, 2017년 3월.
- [5] Peter Flach, *Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data*, Cambridge University Press, 2013