

# 미약신호 환경에서 GLRT를 이용한 미상신호 검출성능 분석

김요한, 김동규, 이유리, \*장충수, 김형남<sup>©</sup>  
부산대학교, \*국방과학연구소

<sup>©</sup>hnkim@pusan.ac.kr

## Performance analysis on the detection of unknown signals using GLRT under weak-signal environment

Yo-Han Kim, Dong-Gyu Kim, Yu-Ri Lee, \*Chung Su Jang, Hyoung-Nam Kim<sup>©</sup>  
Pusan National University, \*Agency for defense development

### Abstract

최근 전자전 분야에서는 IT 기술의 발전을 활용하여 원거리 탐지 능력 및 정밀 식별 능력에 대한 기술력을 증진시키려는 움직임이 활발해 지고 있다. 이러한 기술적 요구와 관련해서 미약신호 환경에서의 정밀한 미상 신호 검출 기술에 대한 개발의 필요성이 강조되고 있다. 본 논문에서는 0 dB 이하의 미약신호 환경에서 미상 신호원의 검출을 위하여 GLRT (generalized likelihood ratio test) 기법에 기반한 에너지 검출기와 피리오도그램의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교분석한다.

### I. 서론

최근 전자전 분야에서의 양상은 전투 중심의 확장으로 인해 정보, 감시, 정찰 체계가 발달하고 있다. 이러한 미래 전장에 대비한 기술적 요구에 의해 현재 전자전 지원 시스템은 이전보다 더 넓은 지역에 대한 원거리 탐지 능력, 적 기체에 대한 정밀한 식별 능력 및 신속한 원거리 탐지 능력 등이 요구 된다. 이러한 전자전 상황에서의 기술적 요구들은 기존보다 열악한 수신 환경에서의 미약 신호원에 대한 정밀한 신호원 검출 능력과 신호원 정보에 대한 향상된 추정 능력 등에 대한 요구로 귀결된다.

신호원 검출에서 가장 중요한 것은 신호원에 대한 정보를 알고 있는 것이다. 신호원 자체를 알고 있다면

AWGN(additive white gaussian noise) 환경에서 정합 필터(Matched filter)를 이용한 경우, 가장 높은 검출 성능을 낼 수 있다. 하지만, 본 논문에서 고려하는 전자전 상황에서는 신호원에 대한 정보가 없는 미상 신호원을 검출 하는 상황이며, 미상 파라미터에 따른 성능 열화가 나타난다[1].

신호원의 정보를 알고 있는 상황에서 신호원을 검출 하는 기법으로는 우도비검정(Likelihood ratio test)이 있는데, AWGN 환경 하에서 우도 비 검정의 결과는 정합필터로 귀결된다. 신호원에 대한 정보가 없이 미상의 신호원을 검출하는 방법으로는 신호원의 미상의 파라미터를 추정하여 추정된 파라미터를 대입한 후, 우도비검정을 실시하는 GLRT (Generalized Likelihood Ratio Test) 기법이 존재 한다 [2].

GLRT는 검출하려는 신호 모델, 추정하려는 파라미터에 따라, 다양한 검정 통계치로 나누어지며[1], 신호원 형태에 대한 어떠한 정보도 없는 경우에 해당하는 에너지 검출기와, 협대역 신호 모델에 해당하는 피리오도그램이 주로 사용된다.

본 논문에서는 GLRT를 이용한 검정 통계치 중 에너지 검출기와 피리오도그램을 구현하고 성능을 분석하였다. 2장에서 GLRT와 에너지 검출기 및 피리오도그램에 대한 개념을 소개하고, 3장에서 시뮬레이션 환경 설정 및 각 검출기의 검출성능 결과를 제시한다. 그리고 4장에서 결론 및 향후 연구방향에 대한 소개로 끝맺는다.

## II. 본론

우도비검정(LRT)을 이용한 신호원 검출은 가설(hypotheses) 설정, 검정통계치(test statics) 설정, 임계값(threshold) 설정 및 가설검정(test & decision) 순서로 이루어진다. 미상의 신호원을 검출하는 GLRT는 기본적인 우도비검정 과정을 따르며, 검정 통계치를 설정할 때 검출하고자 하는 신호에 대한 추정과정이 포함된다. GLRT의 검정 통계치는 신호원에 대한 정보에 따라서 아무런 정보가 없을 때 에너지 검출기와 협대역 신호라는 가정 하에 피리오도그램으로 나누어진다.

수집되는 신호 환경이 가우시안 잡음 환경일 때, 즉,  $w[n] \sim N(0, \sigma^2)$ 인 상황에서 신호원 유무에 대한 두 가지 가설 모형은 식(1)과 같이 설정된다.

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

식 (1)은 잡음만 존재하는  $H_0$ 와, 잡음환경 속에 신호가 존재하는  $H_1$ 의 두 가지 가설을 나타낸다. 신호원 검출을 위한 검정 통계치 설정을 위한 우도비(likelihood ratio) 식을 다음과 같이 세울 수 있다.

$$L(x) = \frac{p(x; H_1)}{p(x; H_0)} > \gamma \quad (2)$$

식 (2)의 우도비 식을 신호원과 잡음의 정보를 이용하여 수식을 정리하면 각 신호원, 잡음환경에 대한 검정 통계치를 유도할 수 있다 [2][3].

$s[n]$ 에 대한 정보가 아무것도 존재하지 않을 때, 수신신호  $x[n]$ 을  $s[n]$ 으로 가정하고 수식을 정리하면 식 (3)과 같은 에너지 검출기가 유도 된다 [2][3].

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

일반적인 레이더 펄스신호에 대해서, 검출하고자 하는 신호  $s[n]$ 을 협대역신호로 가정할 수 있다. 이에 대해서,  $s[n]$ 을  $A \cos(2\pi f_c t + \phi)$ 으로 가정하고, 각각의 미상의 파라미터  $[A, f_c, \phi]$ 를 ML(maximum likelihood) 기법을 통해 추정한 뒤, 우도비 식(2)를 정리하면 식 (4)와 같은 피리오도그램이 유도된다 [2][3].

$$T(x) = \max_{f_c} \left( \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \exp(-j2\pi f_c n) \right|^2 \right) \quad (4)$$

생성된 검정 통계치에 시스템에 요구되는 오탐지율(false alarm rate)을 토대로 식(2)의  $\gamma$ 를 결정하면 검정통계치의 임계값을 유도할 수 있다. 임계값을 설정하면 신호원 검출 알고리즘이 완성된다.

에너지 검출기는 신호원과 잡음의 에너지를 비교하여 신호원을 검출한다. 가장 간단하게 구현이 가능하고, 연산량이 적으며, 신호모델에 상관없이 사용할 수 있지만, 신호모델에 대한 정보가 아무것도 없기 때문에 성능이 떨어진다.

피리오도그램의 특징은, 신호원과 잡음을 FFT를 통한 특정 주파수 구간(frequency bin)에서의 에너지를 비교하여 신호원을 검출하기 때문에, 에너지 검출기보다 높은 검출 성능을 나타낸다. 그러나, FFT에 소요되는 연산량과 각 주파수 bin의 에너지를 모두 비교하는 과정에 연산량이 에너지 검출기보다 많은 문제점을 가진다.

## III. 시뮬레이션

본 장에서는 GLRT를 통해 유도되는 에너지 검출기와 피리오도그램, 두 가지 검정통계치에 대한 시뮬레이터를 구현하고, 그 성능을 분석하였으며, 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

그림 1은 식(1)의 두 가설 모형에 대한 피리오도그램을 신호대잡음비 -5dB 환경에서 나타낸다. 시간 축에 대해서 전체 수집시간 10us 에 대해서 5us에 도착한 신호가 1us의 폭을 가지고 존재하고 신호의 에너지가 중심주파수인 10MHz의 대역에 집중되어 있는 것을 알 수 있다.

그림 2는 에너지 검출기와 피리오도그램을 각각 10만 번 반복 시뮬레이션하여 각 검정통계치의 통계적 분포를 히스토그램으로 나타낸 것이다. 적색 분포는 신호가 존재할 때의 가설에 대한 분포이고, 청색분포는 신호가 존재하지 않을 때의 가설에 대한 분포이며, 파란 실선은 오경보율  $10^{-2}$ 에 대한 임계값을 나타낸

표 1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 환경	
반복 횟수	100000 times
sampling rate	160 MHz
중심 주파수	10 MHz
오경보율	$10^{-2}$
신호 수집시간	10 $\mu$ s
신호 도착시간	5 $\mu$ s
펄스신호 폭	1 $\mu$ s
신호대잡음비(SNR)	-5 dB

다. 두 가지 가설에 대한 검정통계치의 분포가 에너지 검출기에 비해 피리오도그램에서 더 많이 이격되어 있는 것을 알 수 있다.

그림 3은 미상의 신호원을 검출하는 GLRT의 두 가지 검정 통계치를 신호원 정보를 알고 있는 정합필터의 성능과 함께 비교하였다. 탐지 확률이 0.5인 조건에서 정합 필터에 비해 에너지 검출기는 약 10 dB, 피리오도그램이 약 7 dB의 성능열화를 나타내었다. 또한 에너지 검출기에 비해 피리오도그램이 전반적으로 약 3~5 dB 정도의 성능 향상이 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 GLRT를 이용한 미상의 신호원 검출 기법을 이용하여 전자전 지원 시스템의 신호탐지 분야에 적용 가능한 두 가지 검정통계치인 에너지 검출기 및 피리오도그램에 대해서 분석하였다. 우선적으로 각 검정 통계치에 대한 특징과 장단점을 살펴보고, 시뮬레이션을 통해서 정합필터와의 성능을 비교 분석하였다. 이러한 분석결과를 통해서 협대역 레이더 신호의 검출 상황에서는, 에너지 검출기에 비해 피리오도그램을 이용한 신호원 검출이 전반적으로 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

향후 신호원 검출에 대한 시간-주파수분석(Time - Frequency analysis)에서 성능 개선을 위해 시간축에서 신호가 존재하는 구간 분석에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다.

#### 참고문헌

- [1] 김요한 외, "미약 신호 환경에서의 미상 파라미터에 따른 신호 검출 성능 분석," 2015년도 한국통신학회 하계종합학술발표회, vol. 제주, 2015년 6월
- [2] Steven M. Kay "Fundamentals of Statistical Signal Processing Volume II Detection Theory" Prentice Hall PTR, 1993.
- [3] Steven M. Kay "Fundamentals of Statistical Signal Processing Volume I Estimation Theory" Prentice Hall PTR, 1993.

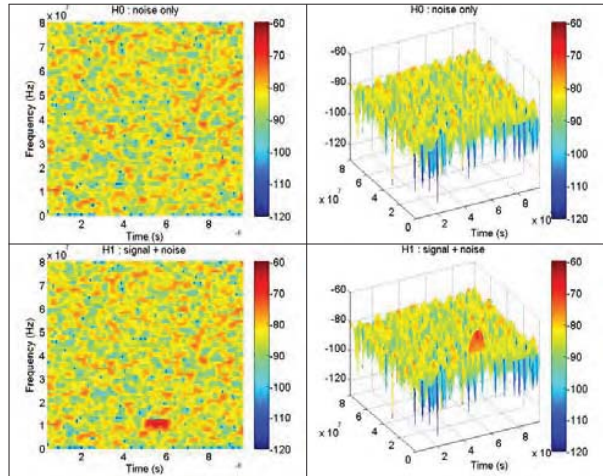


그림 1. 두 가설 모형에 대한 피리오도그램.

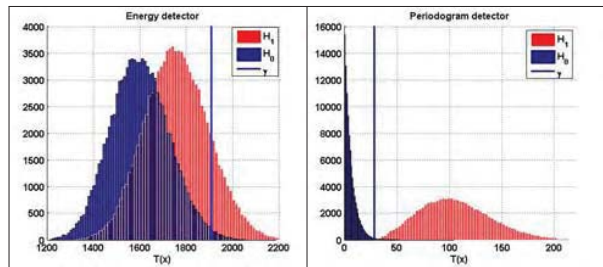


그림 2. GLRT 결과 히스토그램.

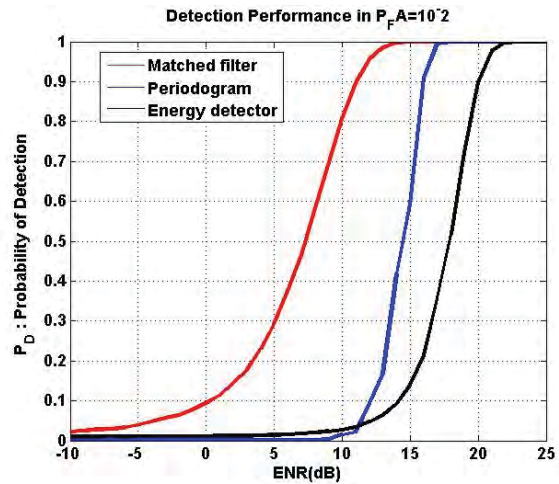


그림 3. SNR에 따른 검정 통계치 검출 성능.