

# 전자전 환경에서 도착 시간 및 펄스폭 추정 오차에 따른 펄스 세기 추정 성능 분석

이유리, 김동규, 김요한, \*곽현규, 김형남<sup>Ⓞ</sup>

부산대학교, \*국방과학연구소

hnkim@pusan.ac.kr<sup>Ⓞ</sup>

## Performance Analysis of Pulse-Amplitude Estimation according to the Estimation Error of Time of Arrival and Pulse Width in Electronic Warfare System

Lee Yu-Ri, Kim Dong-Gyu, Kim Yo-Han, \*Kwak Hyun-Gyu, Kim Hyoung-Nam<sup>Ⓞ</sup>

Pusan National Univ., \*Agency for Defense Development

### 요약

본 논문은 전자전 활동 중 전자전 지원을 위해 수동 탐지 환경을 고려하였고, 적군이 송신하는 전파를 수집하여 혼재되어 들어오는 신호들을 분리하거나 적군의 거리 추정에 필요한 신호제원인 펄스 세기를 추정하였을 때 발생하는 오차에 관한 연구를 진행하였다. 펄스 세기 추정은 도착 시간과 펄스폭 오차에 영향을 받게 되므로, 이러한 오차가 발생하였을 경우에 추정된 신호 구간을 분류하고 각각의 경우에 펄스 세기 추정 오차가 어떠한 특징을 가지는지 확인하였다.

### I. 서론

전자전은 전시에 아군의 전파나 적이 방사하는 전파를 이용해 각종 정보를 획득하거나 통신을 방해하여 전자무기체계의 기능을 무력화시키는 군사활동을 의미한다. 전자전을 위한 활동 중 전자전 지원 (electronic warfare support)은 적군의 통신 및 비통신 장비로부터 방사되는 전파 또는 적군을 확인하기 위해 아군이 방사한 전파를 수신, 분석, 식별하는 활동으로 효과적인 군사작전을 위해 필수적이다 [1]. 이러한 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. 이 중 펄스 세기는 적군의 거리 추정이나 혼재되어 들어오는 신호들의 분리 (deinterleaving) 시에 사용된다. 따라서 펄스 세기의 추정 오차를 줄이게 되면 전자전 시스템의 정확도를 높일 수 있게 된다.

펄스 세기는 펄스 신호 도착 시간과 펄스가 끝나는 시간을 추정하여 얻어진 펄스폭 내의 신호를 이용하여 추정한다. 그러므로 펄스 세기의 추정 오차는 도착 시간과 펄스폭 오차에 영향을 받게 된다. 따라서 본 논문에서는 송신 신호를 모르는 전자전 상황에서 무변조 펄스 신호에 도착 시간 및 펄스폭 오차가 발생하였을 경우에 발생하는 펄스 세기 추정 오차 성능을 SNR (Signal to Noise power Ratio)에 따른 RMSE (Root Mean Square error)를 이용하여 분석한다.

### II. 도착 시간 및 펄스폭 오차에 의한 추정된 신호 구간의 분류

펄스 세기는 펄스 신호의 도착 시간과 없어지는 시간을 추정한 후 추정된 펄스폭 내의 신호를 이용하여 추정한다 [2]. AWGN 환경에서 수신된 무변조 펄스 신호  $x[n]$ 는 추정된 펄스폭의 신호 샘플 갯수가  $N$ 이고, 펄스 세기가  $A$ 일 때, 식 (1)과 같이 파워가  $\sigma^2$ 인 잡음  $w[n]$ 이 더해지는 신호로 표현할 수 있다.

$$x[n] = A + w[n], \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

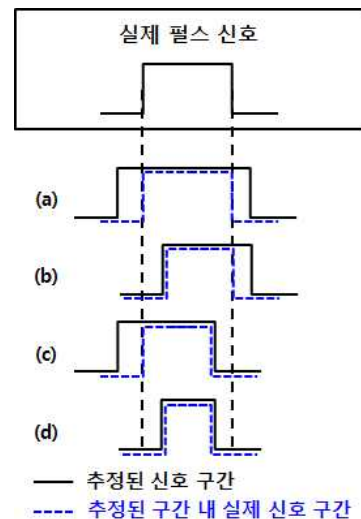


그림 1. 펄스 도착 시간 및 펄스폭 추정 오차에 의해 발생할 수 있는 추정 신호 구간의 분류

추정 이론에서 추정기의 variance의 하한을 CRLB(Cramér-Rao lower bound)라고 하는데, 식 (1)과 같은 상황에서 무변조 펄스 신호의 신호 세기 추정의 CRLB는 식 (2)와 같고,

$$\text{var}(\hat{A}) \geq \frac{\sigma^2}{N} \quad (2)$$

mean 추정기를 사용하면 이러한 CRLB와 동일한 최적의 성능을 가진다 [3].

하지만 펄스 도착 시간과 펄스폭의 추정에 오차가 발생하는 경우에는 이러한 오차가 펄스 세기 추정 성능에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 이러한 오차에 대한 펄스 세기 추정 성능을 분석하기 위하여 펄스 도착 시간과 펄스폭의 추정 오차에 의해 발생할 수 있는 추정 신호 구간을 그림 1과 같이 크게 4가지 경우로 나누어 나타냈다. 그림 1의 (a)는 실제 신호 구간을 모두 포함하면서 그 구간보다 추정된 신호 구간이 긴 상황이다. 이러한 상황에서는 실제 신호 구간과 외부 구간도 포함하여 펄스 세기를 추

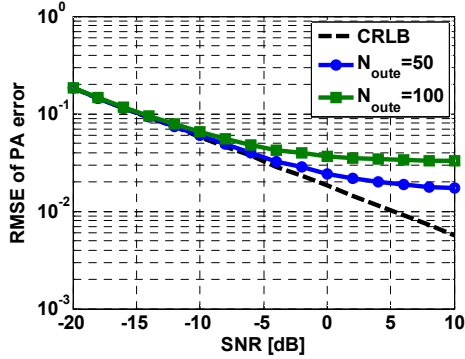


그림 2. 신호 구간 외의 외부 구간이 포함된 펄스 세기 추정 성능.

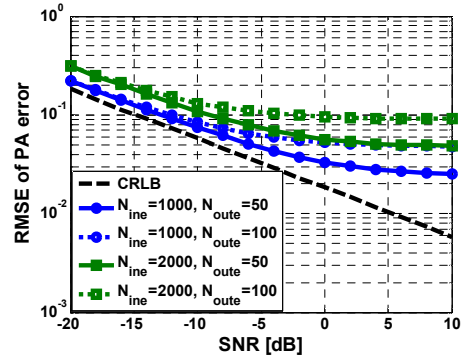


그림 4. 펄스폭보다 적은 신호와 외부 구간이 포함된 펄스 세기 추정 성능.

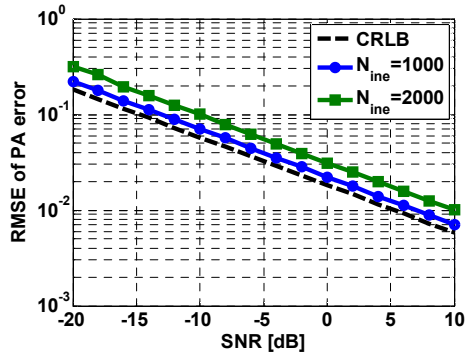


그림 3. 실제 펄스폭보다 더 적은 신호만을 이용한 펄스 세기 추정 성능.

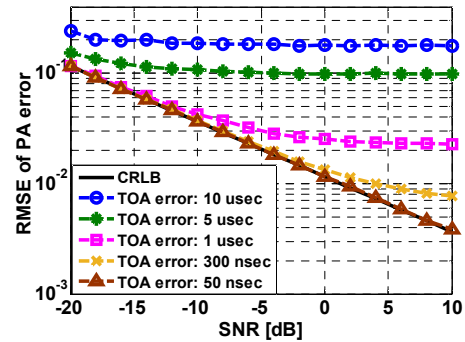


그림 5. 도착 시간 및 펄스폭 추정 오차에 대한 펄스 세기 추정 성능.

정하게 된다. 그리고 그림 1의 (d)는 실제 신호 구간보다 추정된 신호 구간이 작은 상황으로, 실제 펄스폭보다 더 적은 신호 샘플만을 이용해 펄스 세기를 추정하게 된다. 마지막으로 그림 1의 (b)와 (c)는 (a)와 (d)의 문제가 복합적으로 발생하는 상황으로, 실제 신호보다 더 작은 신호 샘플과 신호의 외부 구간도 포함하여 펄스 세기를 추정하게 된다. 따라서 다음 장에서는 펄스 도착 시간 및 펄스폭 오차가 발생하는 경우를 분류하여 각 경우에 성능 오차가 어떻게 발생하는지, 도착 시간 및 펄스폭 오차 정도에 따라 어떤 영향을 주는지 분석한다.

### III. 모의실험 결과

앞서 분류된 추정된 신호 구간에 따른 신호 세기 추정 성능을 살펴보기 위하여 본 논문에서는 150 MHz의 샘플링 주파수로 샘플링한 펄스 세기가 1이고 펄스폭이 50  $\mu$ s인 펄스 신호를 이용해 AWGN을 포함하여 모의 실험을 하였다. 또한 본 논문에서 사용되는 SNR은 펄스폭 내에서의 신호 대 잡음비를 의미한다. 또한 정확한 성능 확인을 위해 같은 조건의 모의 실험을 5000번 반복하여 성능을 분석하였다.

그림 2는 그림 1의 (a)와 같은 상황에서 외부 구간을 늘리면서 발생하는 펄스 세기 추정 성능을 RMSE (Root Mean Square error)로 나타냈다. 이때의 추정 오차는 외부 구간을 50샘플, 100샘플로 늘릴수록 원신호의 최적 추적 성능인 CRLB보다 오차가 더 크게 발생하여 높은 SNR 에서 영향을 받는 것을 확인하였다. 그림 3은 그림 1의 (d)와 같은 상황으로, 실제 펄스폭보다 1000샘플, 2000샘플 더 적은 샘플로 펄스 세기를 추정하였을 때의 성능을 나타낸다. 이때는 식 (2)의 샘플이 줄어드는 효과와 같아져 전체 SNR에서 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 그림 1의 (b)와 (c)의 상황으로 그림 2와 그림 3의 성능 패턴이 모두 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 외부 구간이 포함되는 경우에는 비교적 적은 샘플이 추가되었지만 CRLB에 비해 성능이 급격하게 나빠지는 것을 확인할 수 있고, 펄스폭 내에서 추정에 사용되는 샘플이 작아지는 경우에는 비교적 많은 샘플이 제외되었지만 CRLB와 비교하면 성능이 나빠지는 정도가 완

만한 것을 확인할 수 있다. 최종적으로 그림 5는 도착 시간과 펄스폭 추정 오차가 Gaussian 분포를 가지면서 발생할 때의 성능을 나타낸다. 펄스폭에 비해 도착 시간과 펄스폭 오차가 매우 작을 때의 성능은 크게 나빠지지 않았지만 오차가 커질수록 전체 SNR에서 펄스 세기 추정 성능이 나빠지는 것을 확인할 수 있다.

### IV. 결론

본 논문에서는 전자전의 수동 탐지 환경에서 전자전 지원을 위해 필요한 신호제원 중 하나인 펄스 세기 추정 오차에 관한 분석을 진행하였다. 펄스 도착 시간 및 펄스폭 추정 오차에 의해 발생할 수 있는 추정 신호 구간을 분류하여 외부 구간이 포함되는 경우에 펄스폭 내에서 추정에 사용되는 샘플이 작아지는 경우보다 성능이 급격하게 나빠지는 것을 확인하였다. 이러한 분석 결과는 펄스 세기 추정 시 오차 성능을 줄일 수 있는 방안 연구에 기여할 수 있을 것이다.

### ACKNOWLEDGMENT

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

### 참고 문헌

- [1] 박창권, "해외주둔 미군 재배치 계획의 전략적 의미," *함정* 제 24호, pp. 43-52.
- [2] B. M. Albaker and et. al., "Detection and parameters interception of a radar pulse signal based on interrupt driven algorithm," *Scientific Research and Essays*, vol. 6, no. 6, pp.1380-1387, Mar. 2011.
- [3] S. M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory*, Prentice-Hall, 1993.