

# 전자전 미약신호 환경에서 이중 센서 기반 펄스도착시각 및 펄스폭 추정 기법

김동규, 이유리, \*송규하, \*장충수, 김형남<sup>©</sup>

부산대학교, \*국방과학연구소

hnkim@pusan.ac.kr<sup>©</sup>

## Dual-sensor based estimation of time of arrival and pulse width dual sensor in electronic warfare weak power environment

Kim Dong-Gyu, Lee Yu-Ri, \*Song Kyu Ha, \*Jang Chung Su, Kim Hyoung-Nam<sup>©</sup>

Pusan National University, \*Agency for defense development

### 요약

전자전 지원 시스템은 현대전에서 아군의 전략 수립을 위한 핵심요소로서, 정밀한 제원 추정 성능을 기반으로 위협을 인식 및 식별하는 것이 필수적으로 요구된다. 신속한 신호 정보의 획득을 위해서는 아군의 전자전 시스템이 위협 레이더에 비해 탐지 거리가 길어야 하므로, 신호의 세기가 0 dB 이하인 미약신호 환경에서 펄스폭 및 도착시각 등의 신호제원 추정기법이 필요하다. 하지만 기존의 포락선 검출을 이용한 단일샘플 기반 탐지기법의 성능은 미약신호 환경에서 목표성능을 만족시키지 못하는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 단일샘플 기반이 아닌 수신 신호 전체의 에너지를 활용한 차등이동평균 기법이 제안되었지만, 여전히 추가적인 추정성능 향상을 통한 정확한 위협 인식 및 식별이 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 펄스폭 및 도착시각 추정 성능을 향상시키기 위해서, 수신기의 구조를 이중센서로 변경한 cross-product 기반 차등이동평균 기법을 제안하고 이에 대한 추정성능을 분석한다.

### I. 서론

전자전 (electronic warfare)은 공간 상에 전파되는 전자파의 군사적 응용을 통칭하는 개념으로서, 크게 전자공격 (electronic attack), 전자방어 (electronic protect), 그리고 전자전 지원 (electronic support)으로 구분된다. 현대전에서 아군의 전략적 우위를 확보하기 위해서는 적군의 통신 및 레이더 신호를 탐지하고 수집하여, 신호원의 제원 식별 및 위치 탐지 등을 수행하는 전자전 지원 시스템이 필수적으로 요구되며, 최근 그 중요성이 부각되고 있다 [1][2].

고기능화, 다기능화된 수많은 감시정찰 및 정밀 타격 전력들이 광범위한 전투중심에 분산 운용되는 대규모 작전 형태를 띠는 현대전에서는 다양한 작전요소들을 상호 연결하여 실시간으로 정보를 공유하는 전술체제로 변함에 따라 다수의 신호가 혼재되어 있는 복잡한 환경으로 변모하고 있으며, 기술의 발달과 함께, 펄스압축, 주파수 도약 등의 피탐 확률을 줄이는 다양한 방법의 변조방식이 사용되고 있다 [3]. 또한 신속한 신호 정보의 획득을 위해서는 아군의 전자전 시스템이 위협 레이더에 비해 탐지 거리가 길어야 하므로, 신호의 세기가 0 dB 이하인 미약신호 환경에서의 신호제원 추정 및 식별이 요구된다.

위협 신호원의 식별 및 위치 추정에 이용되는 신호제원으로는 펄스폭, 펄스도착시각, 중심 주파수, 펄스세기, 도래각 등이 있으며, 이 중에서 도착 시각으로부터 위협 신호의 펄스 반복 주기를 도출할 수 있고, 펄스폭 및 주파수를 함께 활용하여 보유하고 있는 라이브러리와 비교함으로써 위협체를 식별하는 것이 가능하다. 기존의 펄스도착시각 및 펄스폭 추정 기법으로는 신호에 포락선 검출을 수행한 값이, 오경보율을 고려하여 기 설정된 임계값을 초과할 때의 시각으로 펄스도착시각을 추정하고 초과한 시각으로부터 다시 임계값 이하로 떨어지는 시각사이의 시간으로 펄스폭을 추정한다 [4]. 하지만 0 dB 이하의 미약신호 환경에서는 신호파위에 비해

잡음의 파위가 큰 값을 가지므로 추정 성능이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 차등이동평균 기법이 제안되었으며, 이를 활용하면 미약신호 환경에서도 추정 정확도를 높게 유지할 수 있다. 하지만, 여전히 신속한 원거리 위협 식별을 위해서는 차등이동평균 기법에 비해 더 낮은 SNR에서도 동일한 성능을 가지는 향상된 추정 기법이 필요한 상황이다. 따라서 본 논문에서는 차등이동평균 기법의 성능을 향상시키기 위해서, 센서를 추가적으로 설치하는 구조적인 변형을 통하여 cross-product 기반 차등이동평균 기법을 제안하고 그 성능을 분석한다.

### II. 이중센서 기반 차등이동평균 기법

미약신호 환경에서 펄스폭 및 도착 시간을 추정하기 위한 차등이동평균 필터는 그림 1과 같은 형태를 가지는 필터로, 포락선 검출을 수행한 신호를 입력으로 컨볼루션(convolution)을 수행한다. 출력신호를 기반으로 출력의 최대값에 대응되는 시간에서 윈도우 길이를 뺀 값을 통해 도착시간을 추정할 수 있으며, 출력의 최대값 및 최소값에 대응하는 시간 차이로부터 펄스폭을 추정할 수 있다. 이러한 차등이동평균 필터를 활용한 추정기

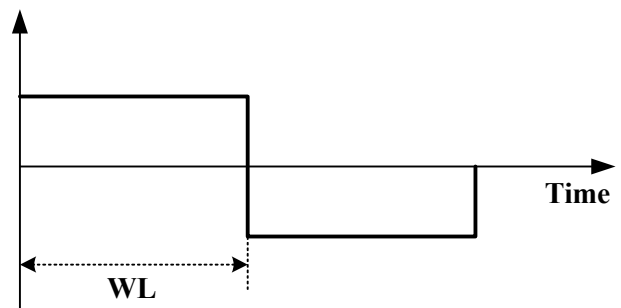


그림 1. 차등이동평균 필터(WL: window length).

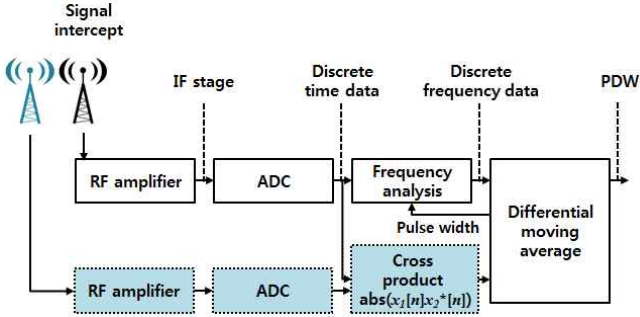


그림 2. Cross-product 기반 차등이동평균 기법.

법은 단일샘플 기반 포락선 검출 기법으로 추정성능이 떨어지는 0 dB 이하의 미약신호 환경에서도 펄스폭 및 펄스도착시간 추정성능이 우수하다. 하지만, 그림 2와 같이 이중센서를 활용하여 구조적인 변경을 통해 추가적인 추정성능 향상을 기대할 수 있다.

기존의 포락선 검출 기반 차등이동평균 필터의 입력  $u[n]$ 은 식 (1)과 같은 포락선 검출 출력값을 입력으로 한다.

$$u[n] = abs(x_1[n]) \tag{1}$$

여기서,  $x_1[n]$ 은 수신단 1에서의 기저대역 수신신호이고,  $abs$ 는 신호의 크기(magnitude)를 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 이중센서 구조에서 차등이동평균 필터를 적용하기 위해서는 식 (2)와 같이 cross-product 값을 입력으로 사용하여야 한다.

$$u[n] = abs(x_1[n]x_2^*[n]) \tag{2}$$

여기서,  $x_2[n]$ 은 수신단 2에서의 기저대역 수신신호이다. 구조적인 변경 및 cross-product 값을 입력으로 활용하는 것 이외에는 기존의 차등이동평균 필터의 추정방법을 이용하여 펄스도착시간 및 펄스폭을 추정한다.

그림 3 및 그림 4는 1  $\mu$ s, 5  $\mu$ s, 10  $\mu$ s 의 펄스폭을 가지는 LFM신호에 대하여 기존 포락선 검출기 기반 차등이동평균 기법과 제안하는 cross-product기반 차등이동평균 기법의 성능을 도시한 것이다. 이 때, 펄스도착시간은 17.6  $\mu$ s, 양상블은 500회, 샘플링 주파수는 160 MHz, 차등이동평균의 윈도우는 100 ns ~ 500ns(100ns step), 1  $\mu$ s ~ 10  $\mu$ s(1  $\mu$ s step), 20  $\mu$ s ~ 50  $\mu$ s(10  $\mu$ s step)의 총 19개의 윈도우를 사용하였다. 그림으로부터 다양한 펄스폭에 대하여 제안하는 cross-product 기반 추정기법이 포락선 검출기 기반 기법에 비해 0 dB 이상의 구간에서는 약 1~1.5 dB 정도의 성능향상을 확인할 수 있다. 특히 0 dB 이하의 미약신호 환경에서는 약 2 dB의 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 미약신호 환경에서 펄스폭 및 도착시간 추정을 위한 차등이동평균 기법의 성능을 향상시키는 방법을 제안하고 그 성능을 기존 기법과 비교 분석하였다. 제안하는 cross-product 기반 차등이동평균 기법은 기존 기법에 비해 미약신호 환경에서 약 1.5~2 dB의 성능향상을 보였으며, 이러한 특징은 향후 전자전 미약신호 환경에서 신호제원 추정을 위한 방법으로서 적극 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

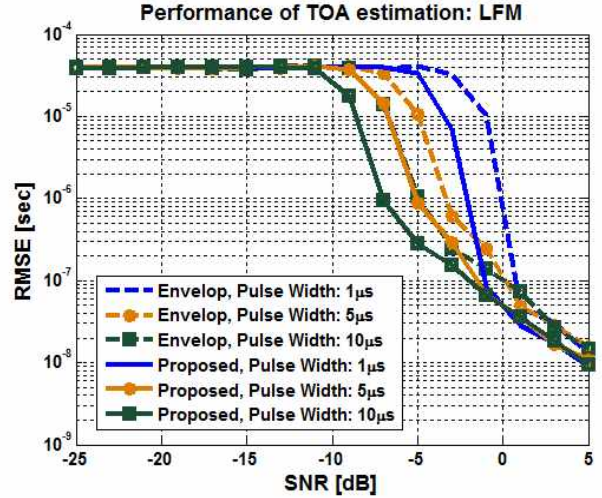


그림 3. 다양한 펄스폭에 따른 펄스도착시간 추정 성능.

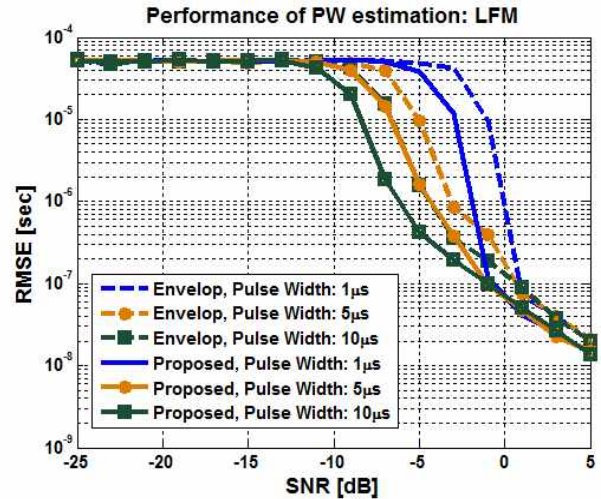


그림 4. 다양한 펄스폭에 따른 펄스폭 추정 성능.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

- [1] 권태영, 정춘일 박창권, "미래전 양상 연구," 한국전략문제연구소, 2004.
- [2] D.-G. Kim, Y.-H. Kim, J.-O. Park, M. S. Lee, Y.-M. Park and H.-N. Kim, "A sequential estimation algorithm for TDOA/FDOA extraction for VHF communication signals," *J. IEEK*, vol. 51. no. 7, pp. 60-68, Jul. 2014.
- [3] Denk Aytung. "Detection and jamming Low Probability of Intercept(LPI) RADAR," NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA, 2006.
- [4] James Tsui, "Special design topics in digital wideband receivers," Artech House, 2010.