

전자전 미약신호 환경에서 주파수 오차에 따른 신호제원 추정 기법의 성능 분석

김동규, 이유리, 김요한, *송규하, 김형남[©]
 부산대학교 전자공학과, *국방과학연구소
[©]hnkim@pusan.ac.kr

Performance analysis of parameter estimation of unknown signals according to frequency-estimation error under the weak-power electronic warfare environment

Dong-Gyu Kim, Yu-Ri Lee, Yo-Han Kim, *Kyu-Ha Song, Hyoung-Nam Kim[©]
 Department of Electronics Engineering of Pusan National University,
 *Agency for Defense Development

Abstract

현대전에서 전자전 지원시스템을 활용한 신호제원 식별 및 위치추정은 아군의 신속한 전락전술 수립의 핵심적인 요소로서, 그 중요성이 부각되고 있다. 하지만 수신신호의 세기가 미약한 0 dB 이하의 환경에서 이를 수행해야 하는 어려움이 있다. 또한, 미상 신호에 대한 정보가 부족하므로 펄스폭 및 펄스도착시간 등의 신호 정보 추정 시에 주파수 등의 다른 신호 정보의 추정 오차가 영향을 미치는 문제점이 존재하지만, 이러한 추정 오차의 영향에 대한 분석이 부족한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 차등이동평균 기법을 이용하여 펄스도착시간 및 펄스폭 주파수를 추정하고 주파수 추정오차가 추정 결과에 미치는 영향을 분석한다.

I. 서론

전자전 지원 시스템은 적군의 통신 및 레이더 신호를 탐지하고 수집하여 주파수, 펄스 폭, 도착 시간 등의 제반사항 추정을 통해서 신호원의 제원 식별 및 위치 추정 등을 수행하는 시스템으로서, 아군의 전락 전술 체계를 확립하여 전략적 우위를 확보하는데 필수적인 요소이다[1][2].

현대전에서는 수많은 감시 정찰 및 기만 신호들이 광범위하게 분산 운용되는 복잡한 신호환경으로 변모하고, 펄스압축 및 주파수 도약등의 피탐 확률을 줄이는 다양한 변조 방식이 발전함에 따라, 신호 정보를

획득하는데, 고속 정밀 신호처리가 필수 불가결한 요소가 되었다[3]. 또한, 신속한 신호정보의 획득을 위해서는 아군의 전자전 지원 시스템이 적군의 레이더에 비해 탐지 거리가 필수적으로 길어야 하므로, 신호대잡음비가 0 dB이하가 되는 미약신호 환경에서의 신호제원 추정 및 식별이 요구된다.

신호 식별 및 위치 추정에 활용되는 신호제원으로는 펄스폭, 도착시간, 주파수, 신호세기, 도래각이 있으며, 기존 도착시간 및 펄스폭 추정기법으로 이동 평균값을 설정된 검출 임계값과 비교하는 알고리즘이 존재한다. 하지만 이동평균의 경우, 잡음에 취약하여 신호대잡음비가 0 dB이하가 되는 미약신호 환경에서는 추정 정확도가 떨어지는 문제점이 있다[4]. 이러한 문제점을 극복하기 위해 차등이동평균 기법이 제안되었으며, 이를 활용하여 미약신호 환경에서도 정밀한 추정 정확도를 확보할 수 있다[4]. 하지만, 이러한 추정 정확도는 수신 신호가 정확한 사각형 펄스 형태를 가질 때만 유효한 것으로, 수신 신호에 대한 사전정보가 정확하지 않은 전자전 환경에서는 주파수 오차가 발생하므로 적합하지 않은 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는, 미약신호 환경에서 차등이동

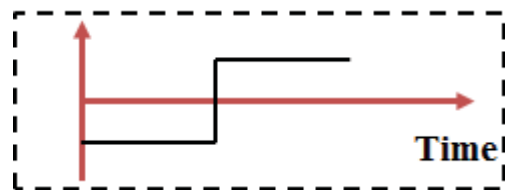


그림 1. 차등이동평균 필터.

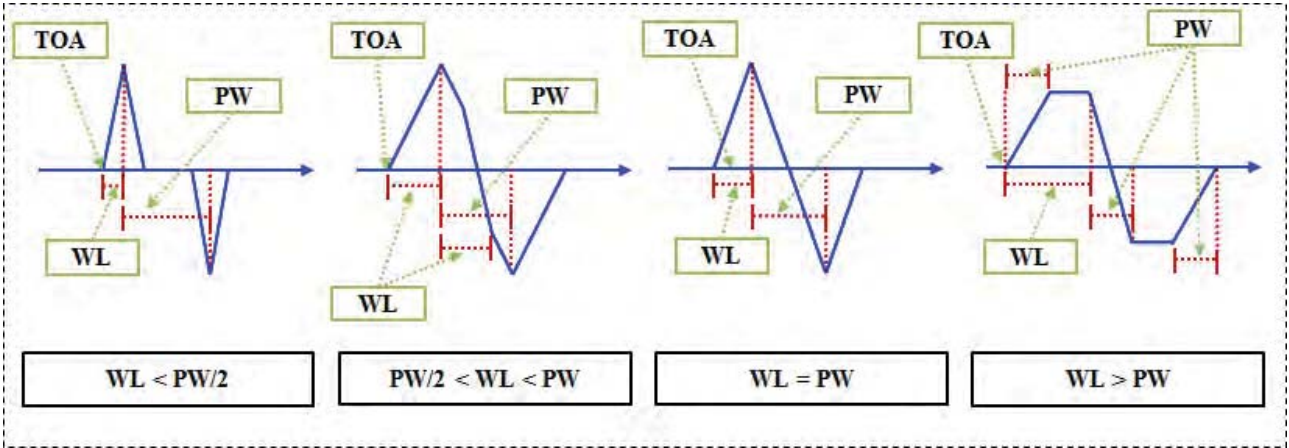


그림 2. 펄스폭 및 윈도우 길이에 따른 차등이동평균의 출력값(WL: window length, PW: Pulse width).

평균을 활용하여 주파수 오차에 따른 펄스도착시간 및 펄스폭 추정을 수행하고, 그 성능을 분석한다.

II. 차등이동평균(differential moving average)을 활용한 신호제원 추정 기법

차등이동평균필터는 그림 1과 같은 형태를 가지는 필터로, 레이더 수신 신호에 대한 출력은 그림 2와 같은 특성을 가진다. 그림 2로부터, 윈도우 길이가 수신 신호의 펄스폭과 같거나 작은 경우, 삼각형 모양을 가지며, 윈도우 길이가 클 경우에, 사다리꼴 형태를 가지는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 출력값이 최대치인 시간에서 윈도우 길이를 뺀값을 통하여 펄스도착시간을 추정할 수 있으며, 최대치 및 최소치의 시간 차이로부터 펄스폭을 추정할 수 있다. 이 때, 잡음이 존재할 때, 윈도우 길이가 펄스폭에 비해 과도하게 긴 경우에는, 최대치를 추정하기 어려운 문제가 발생하므로, 윈도우 길이는 펄스폭에 비해 작은 값을 사용하여야 한다. 또한, 전자전 환경에서 레이더 신호는 수백 ns에서 수백 μ s의 범위를 가지므로 다수의 윈도우를 사용해서, 식 (1)을 연산하여 값이 가장 큰 윈도우를 결정함으로써, SNR이 높은 윈도우를 결정할 수 있다.

$$R_i = \frac{w_i - thr_i}{w_i} \quad (1)$$

여기서, w_i 는 i 번째 윈도우의 차등이동평균 출력값의 최대치이며 thr_i 는 i 번째 윈도우의 임계값으로, 잡음만 존재하는 경우의 출력값의 6σ 를 사용한다.

III. 모의실험 결과

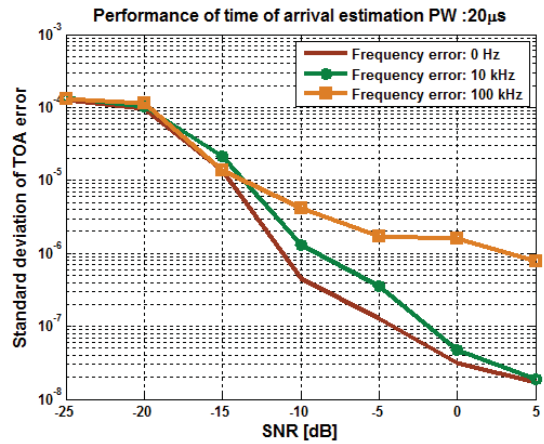


그림 3. 펄스도착시간 추정 결과.

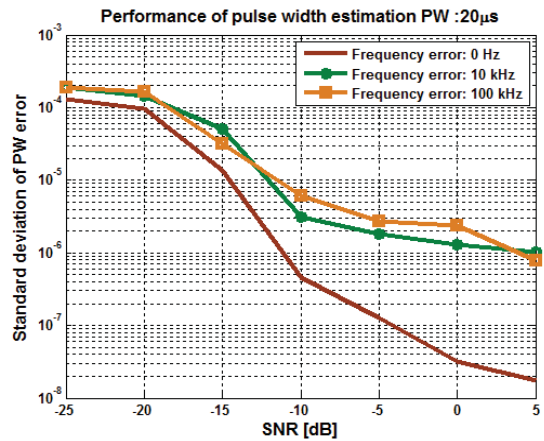


그림 4. 펄스폭 추정 결과.

그림 3 및 그림 4는 미약신호 환경에서 주파수 오차에 따른 펄스도착시간 및 펄스폭 추정 오차를 RMSE 값으로 나타낸 것으로 도착시간의 경우, 주파수 오차가 없을때와 10 kHz 일 때는 유사한 성능을 보이지만 100 kHz 일 때, -10 dB부터 5 dB 까지 1us 이상의 오

차를 가진다. 펄스폭 추정의 경우에는, 10 kHz 및 100 kHz 모두 -10 dB부터 5 dB 까지 1us 이상의 오차를 가지는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 차등이동평균을 활용하여 펄스도착시간 및 펄스폭을 추정하고, 주파수 오차에 따른 성능을 분석하였다. 펄스도착시간의 경우 10 kHz의 오차가 발생하더라도 성능이 주파수오차가 없는 경우와 유사하였으나, 펄스폭 추정은 10 kHz의 오차가 발생할 경우, 성능이 현저하게 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 향후 통합 신호제원 추정 알고리즘의 개발이 필요할 것으로 보이며, 이 때, 본 논문의 분석 결과로부터 주파수 추정 성능의 기준점을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [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. IEK*, 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.