

전자전 미약신호 환경에서 다중 윈도우를 활용한 펄스폭 및 도착시간 추정에서 연산량 감소 기법

김동규, 이유리, 김요한, *송규하, 김형남[©]

부산대학교, *국방과학연구소

hnkim@pusan.ac.kr[©]

Complexity reduction for the estimation of time of arrival and pulse width using multiple window in electronic warfare environment

Kim Dong-Gyu, Lee Yu-Ri, Kim Yo-Han, *Song Kyu-Ha, Kim Hyoung-Nam[©]

Pusan National University, *Agency for defense development

요 약

현대전에서 전자전 지원 시스템은 아군의 민첩한 전략 수립을 위한 핵심적인 요소로서, 신속하게 신호정보를 수집하고 처리하여 위협을 인식 및 식별하는 것이 필수적으로 요구된다. 하지만, 전자전 지원 시스템에서 펄스폭 및 도착시간 추정 기법인 차등 이동 평균 필터는 광범위하게 분산되어 운용되는 다수의 신호원을 동시에 고려해야하는 전자전 환경의 특성으로 인해 다중 윈도우를 활용하게 되므로 연산량이 과도하게 증가되는 문제점이 존재한다. 특히, 차등 이동 평균 필터의 출력 연산을 위한 컨볼루션(convolution)은 윈도우 길이가 길수록 연산량이 커지는 문제점이 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 위협으로부터 방사되는 신호원에 대한 펄스폭 및 도착시간의 제원 추정 기법의 연산량을 최소화하기 위하여 차등 이동 평균의 컨볼루션 연산에서 불필요한 요소들을 최소화하는 기법을 제안하고 이에 대한 연산량을 분석한다.

I. 서 론

전자전 (electronic warfare)은 공간상에 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, 도착시간, 중심 주파수, 펄스세기, 도래각이 있으며, 이 중에서 도착 시간으로부터 위협 신호의 펄스 반복 주기를 도출할 수 있고, 펄스폭 및 주파수를 함께 활용하여 보유하고 있는 라이브러리와 비교함으로써 신호원의 종류 및 위협체의 제원 파악이 가능하다. 기존의 도착시간 및 펄스폭 추정 기법으로는 이동 평균값을 활용하여 출력이 최대가 되는 시점을 추정하는 방법이 존재한다. 하지만 0 dB 이하의 미약신호 환경에서는 잡음에 취약하여 추정 성능이 떨어지는 문제점을 가지고 있다 [4]. 이러한 문제점을

해결하기 위해 차등 이동 평균 기법이 제안되었으며, 이를 활용하면 미약 신호 환경에서도 추정 정확도를 높게 유지할 수 있다 [4]. 하지만, 전자전에서 고려하는 위협 레이더 펄스 신호의 경우, 펄스폭이 100 ns부터 100 μ s의 넓은 범위를 가지므로 다양한 신호에 대해서도 높은 정확도를 유지하기 위해서는 다수의 윈도우를 활용하여야 하며, 이는 연산량의 과도한 증가를 일으키는 문제가 존재한다. 특히 윈도우 길이가 길어질 경우에, 컨볼루션(convolution) 연산이 윈도우 길이에 비례하여 증가하게 되므로, 신속한 연산능력이 중요시되는 전자전 환경에 적합하지 않은 문제점이 존재한다.

따라서 본 논문에서는 차등 이동 평균 기법의 연산량을 최소화하기 위하여, 근접한 출력 샘플간의 불필요한 연산 요소들을 최소화하는 기법을 제안하고 이에 대한 연산량을 기존 컨볼루션 기법과 비교 분석한다.

II. 차등이동평균 기법의 구조 및 연산량 감소 방법

펄스폭 및 도착 시간을 추정하기 위한 차등 이동 평균 필터는 출력의 최대값 검출시에 대응되는 시간에서 윈도우 길이를 뺀 값을 통해 도착시간을 추정할 수 있다. 또한, 출력의 최대값 및 최소값에 대응하는 시간 차이로부터 펄스폭을 추정할 수 있다. 여기서, 윈도우 길이가 펄스폭 보다 긴 경우에는 잡음으로 인해 오차가 크게 발생하는 문제점을 가진다 [4].

전자전에서 고려하는 레이더 펄스 신호의 경우, 펄스폭이 100 ns부터 100 μ s의 넓은 범위를 가지므로 다수의 윈도우를 활용하여, 차등 이동 평균의 출력 값을 도출하며, 식 (1)로부터 출력 신호대 잡음비가 가장 높은 윈도우의 펄스폭 및 도착시간 추정치를 최종 추정 값으로 설정한다.

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

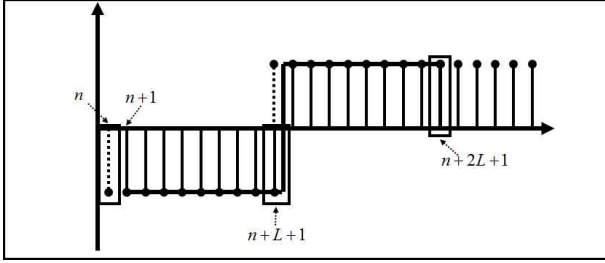


그림 1. 차등 이동 평균의 연산 구조.

여기서, w_i 는 i 번째 윈도우의 차등이동평균 출력값의 최대치이며 thr_i 는 i 번째 윈도우의 임계값으로, 잡음만 존재하는 경우의 출력값의 6σ 를 사용한다 [4].

차등 이동 평균 필터는 식 (1)과 같은 임펄스 응답을 가지며, 수신단에 서 수집한 기저대역 신호 $x[n]$ 이 차등 이동 평균 필터를 통과하면 식 (2)와 같이 $y[n]$ 이 출력된다.

$$h[n] = \begin{cases} 1, & n = 0, 1, \dots, L \\ -1, & n = L+1, L+2, \dots, 2L \end{cases} \quad (1)$$

$$y[n] = x[n] * h[n] = - \sum_{k=n+1}^{n+L} x[k] + \sum_{k=n+L+1}^{n+2L} x[k] \quad (2)$$

여기서, 차등 이동 평균 필터의 연산 구조를 살펴보면, 그림 1과 같으며, $n+1$ 번째 출력 샘플의 연산은 n 번째 샘플의 연산과 상당수 곱치는 것을 확인할 수 있다. 따라서, n 번째 샘플의 연산으로부터 $n+1$ 번째 샘플에서 새롭게 추가 혹은 제거된 그림 1에서 사각형안의 샘플만을 식 (3)과 같이 추가적으로 연산함으로써, 연산량을 최소화 할 수 있다.

$$y[n+1] = y[n] + x[n] + x[n+2L+1] - 2[n+L+1] \quad (3)$$

III. 연산량 비교 분석

본 논문에서 고려하는 전자전 신호는 펄스폭이 100 ns부터 100 μ s의 짧은 신호를 고려하므로, 높은 해상도를 위해 수백 MHz의 샘플링 주파수가 필요하다. 이 때, 기존의 컨볼루션 기반 차등 이동 평균 기법은 식 (2)를 연산하기 위하여 각 윈도우당 식 (4)와 같은 덧셈 연산량이 필요하다.

$$NC_{CONV} = 2L \times f_s \quad (4)$$

여기서 f_s 는 샘플링 주파수이다. 또한, 윈도우 길이 L 은 고려하는 모든 신호를 추정할 수 있기 위해 다중 윈도우를 사용한다.

기존의 컨볼루션 기반 차등 이동 평균 기법과 달리 제안하는 연산 기법은 식 (3)을 연산하기 때문에 초기 $y[0]$ 값 이외에 총 3개의 덧셈 연산만 필요하다. 표 1은 각 윈도우 별 기존 컨볼루션 기법 대비 제안하는 기법의 연산 효율 및 전체 연산 효율을 나타낸 것으로 성능 분석을 위해서 100 ns에서 1 μ s 까지 100 ns 간격, 1 μ s에서 10 μ s까지 1 μ s간격, 10 μ s에서 100 μ s까지 10 μ s 간격의 총 28개의 윈도우를 사용한다고 가정하였고, 샘플링 주파수는 150 MHz로 설정 하였다. 최종적으로 제안하는 기법이 기존 연산량에 비해 0.12 %의 적은 연산량만 필요한 것을 확인할 수 있다.

표 1. 기존 컨볼루션 기법 대비 제안 기법의 연산 효율.

윈도우 길이	컨볼루션 대비 제안기법의 연산량 (%)
100 ns	10 %
500 ns	2 %
1 μ s	1 %
5 μ s	0.2 %
10 μ s	0.1 %
50 μ s	0.02 %
전체 연산량	0.12 %

IV. 결론

본 논문에서는 미약신호 환경에서 펄스폭 및 도착시간 추정을 위한 차등 이동 평균 기법의 연산량을 최소화하는 방법을 제안하고 그 성능을 기존 기법과 비교 분석하였다. 전자전 환경에서 다중윈도우를 사용하는 기존 기법의 연산량에 비해 제안하는 기법은 0.12 %의 적은 연산량이 필요한 것을 확인하였다. 제안하는 기법은 전자전 미약신호 환경에서 신호제원 추정에 적극 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

- [1] 권태영, 정준일 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. IEEEK*, 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.