펄스형 레이더 신호의 TDOA/FDOA 정보 추출을 위한 순차 추정 알고리즘

김동규, 박근호, *박진오, **김소연, 김형남©
부산대학교 전자공학과, *LIG Nex1, **국방과학연구소
e-mail : ©*hnkim@pusan.ac.kr*

A Sequential Estimation Algorithm for TDOA/FDOA Extraction for pulsed Radar Signals

Dong-Gyu Kim, Geun-Ho Park, *Jin-Oh Park, **Soyeon Kim, Hyoung-Nam Kim©
Pusan National University, *LIG Nex1, **Agency for Defense Development

Abstract

TDOA/FDOA 위치추정 시스템에서 신호원의 위치를 정확하고 신속하게 추정하기 위해서는 TDOA/FDOA 정보 추정의 높은 정확도가 필수적으로 선행되어야 한다. 하지만 기존의 CAF(cross ambiguity function) 기반 알고리즘을 활용하여 펄스형 레이더 신호의 TDOA 및 FDOA를 추정할 경우, 높은 정확도를 달성하기 위해서는 많은 연산량이 필요하므로 전자전 환경에 적합하지 않은 문제점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 연산량 감소를 위해서 펄스형 레이더 신호에 적합한 변형된 CAF기반 순차 추정 알고리즘을 제안한다.

I. 서론

최근 전자전 시스템에서 TDOA(time difference of arrival) 및 FDOA(frequency difference of arrival)를 이용한 미상신호원의 위치추정 방법에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1][2]. TDOA는 비협조적 신호원으로부터 방사되는 신호가 두 수신단에 도착하는 시간의 차이를 의미하며, FDOA는 신호원과 수신단간의 시선속도에 의해 발생하는 도플러 주파수 차이를 의미한다.

정밀한 위치 추정을 위해서는 TDOA/FDOA 정보 추출의 정확한 추정성능이 우선적으로 요구되며, 식 (1)과 같이 정의된 CAF(cross ambiguity function)를 기반으로 다양한 알고리즘이 제안되었다[2][3].

$$A(\tau,\nu)=\int_0^T r_1(t)r_2^*(t+\tau)e^{-j2\pi\nu t} \tag{1}$$

여기서 수집 시간 T초 동안의 복소 신호(complex signal) $r_1(t)$와 $r_2(t)$를 이용하여 CAF의 절대값, $|A(\tau,\nu)|$가 최대가 되는 시간이동 τ와 주파수 이동 ν로부터 TDOA 와 FDOA 값을 추출한다.

CAF 기반 알고리즘은 모든 시간 및 주파수에 대하여 식(1)을 연산하는 brute-force 방법[2]이 있으며, Stein은 불필요한 주파수축 연산량을 줄인 방법을 제안하였다[3]. 하지만 전자전 상황에서 펄스형 레이더 신호를 고려하는 경우, 목표 성능을 만족시키기 위해서는 수집시간을 늘리는 것이 필수적으로 요구되며[4], 이에 따라 연산량이 실제 환경에 적용하지 못할 수준으로 늘어나게 된다. 따라서 본 논문에서는 펄스형 레이더 신호에 적합하게 변형된 CAF 기반 알고리즘을 제안한다.

II. TDOA/FDOA 추출을 위한 순차 추정 알고리즘

수신신호 $r_1(t)$와 $r_2(t)$를 샘플링한 이산 신호를 식(1)에 적용하면 식 (2)와 같이 된다[2].

$$A(m,p)=\sum_{n=0}^{N-1} r_1[n]r_2^*[n+m]\exp\left(-j2\pi\frac{np}{Q}\right) \tag{2}$$

여기서, Q는 고려하는 주파수축 빈(bin) p의 총 개수이다. 이 때, N을 한 블록 당 L개의 샘플을 가지는 K개의 블록으

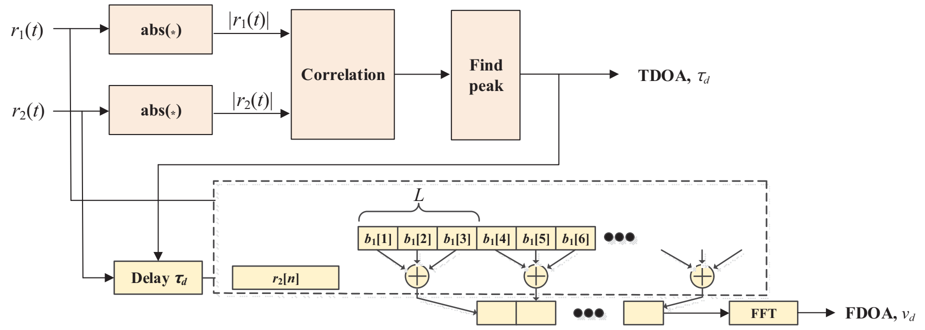

그림 1. 변형된 Stein's 알고리즘 기반 제안 알고리즘의 구조

로 나누고 Q에 K를 대입하면 Stein이 제안한 알고리즘이 식 (3)과 같이 유도된다[3].

$$A(m,p) = \sum_{k=0}^{K-1}\sum_{i=0}^{L-1} b_m[kL+i]\exp\left(-j2\pi\frac{kp}{K}\right)$$
$$b_m[n] = r_1[n]r_2^*[n+m], \quad n = kL+i \tag{3}$$

식 (3)으로 이루어진 Stein 알고리즘은 미상 신호원에 대하여 TDOA/FDOA 정보를 높은 정확도로 추출하는데 연산량이 많은 한계를 가진다. 따라서 본 논문에서는, 변형된 Stein's 알고리즘 기반 순차추정 알고리즘을 다음과 같이 제안한다. 먼저, 주파수에 의한 영향을 제거하기 위하여 각 수신신호의 크기(magnitude) 값을 구하고, 상호상관관계(cross correlation)를 계산하여 최대가 되는 m 값으로부터 TDOA를 구한다. 구해진 m 값은 식 (3)에 대입하여 Stein 알고리즘의 1차원(dimensional) FFT만을 수행함으로써, FDOA를 도출할 수 있다. 이러한 알고리즘의 과정을 그림 1의 블록도로 나타내었으며, 그림 2와 그림 3에 펄스개수가 10개이고, 펄스폭이 50 ㎲, 100 ㎲인 신호에 대한 TDOA 및 FDOA 추정 성능을 각각 나타내었다.

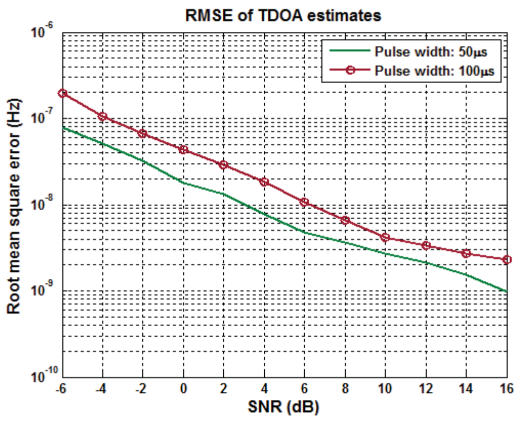

그림 2. 제안된 알고리즘의 TDOA 추정 성능.

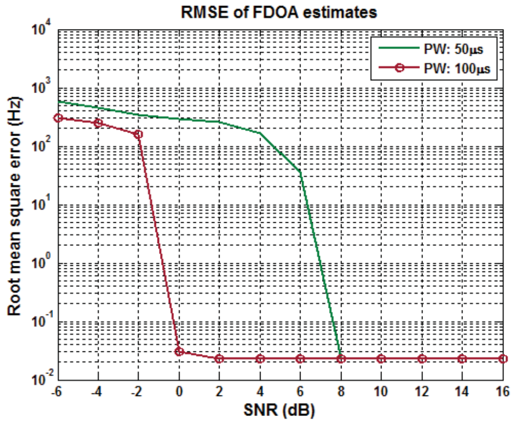

그림 3. 제안된 알고리즘의 FDOA 추정 성능.

Ⅲ. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 전자전 환경에서 펄스형 레이더 신호의 TDOA 및 FDOA 추정을 위한 변형된 Stein 알고리즘 기반의 순차 추정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 향후 미상 신호원 위치추정에 유용할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] Darko Musicki and Wofgan Koch, "Geolocating using TDOA and FDOA Measurements," In Proc. of 11th Int. Conf. on Inf. Fusion, pp. 1-8, Coloqne, Germany, Jun-July 2008.

[2] G. D. Hartwell, "Improved geo-spatial resolution using a modified approach to the complex ambiguity function", Master's thesis, Naval Postgraduate School, 2005.

[3] S. Stein, "Algorithm for Ambiguity Function Processing," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process., vol. ASSP-29, no. 3, pp. 588-599, Aug. 1993.

[4] 김동규, 박진오, 이문석, 박영미, 김형남, “통신 신호기반 TDOA/FDOA 정보 추출의 목표성능을 위한 최소 수집시간 분석,” 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집 (동계) 2015, pp. 250-252. 2015년. 2월.