

# TDOA/FDOA를 이용한 LSE 기반 고정 신호원의 위치추정 방법

김동규, 강인웅, \*한진우, \*조제일, 김형남  
부산대학교 전자공학과  
\*국방과학연구소  
e-mail : hnkim@pusan.ac.kr

## Geolocation Method for a Stationary Emitter Using TDOA and FDOA Based on Least-Squares Estimation

Dong-Gyu Kim, In-Woong Kang, Jin-Woo Han, Je-Il Jo,  
Hyoung-Nam Kim  
Department of Electronics Engineering, Pusan National University  
\*Agency for Defense Development

### 요 약

TDOA (time difference of arrival) 및 FDOA (frequency difference of arrival) 위치추정 기법은 수신단 쌍에서 측정된 각각의 TOA (time of arrival)와 Doppler 주파수의 차분정보에 대응하는 곡선들의 교점을 추정하여 신호원의 위치를 얻어낸다. 이 때 하나의 수신단 쌍에서 얻어진 TDOA 곡선은 항상 쌍곡선의 형태를 가지나 수신단의 배치에 따라 특성이 변하며, FDOA는 TDOA 곡선과 달리 일반적인 형태가 없고 수신단의 운용속도 및 배치에 따라 다양한 형태를 가진다. 따라서 본 논문에서는 수신단의 운용에 따른 성능을 분석하기 위해서 LS 추정에 기반한 TDOA/FDOA 위치추정기법을 구현한다.

### I. 서론

현대전에서는 정확하고 신속하게 위협 신호를 탐지 및 식별하고, 해당 신호원의 위치를 파악하기 위한 효율적인 수동 위치추정 기술의 필요성이 높아지고 있다. 최근에는 TDOA 및 FDOA와 같은

비도래각 기반의 정밀 위치추정 기법에 관한 연구가 폭넓게 진행되고 있다 [1], [2]. 이 중 TDOA는 수신단간 도착시간차이, FDOA는 다수의 수신단에서 측정된 도플러 주파수 차이이며, 각 측정값에 해당하는 기하학적 등위선들의 교점으로부터 신호원의 위치를 추정한다. 이 때, 생성되는 등위곡선은 각 수신단의 배치형태와 속도벡터에 따라 다양한 형태를 가지게 된다. 따라서 TDOA와 FDOA 정보를 동시에 이용하는 위치추정 기법은 수신단의 다양한 운용조건과 배치형태를 고려하여야 한다. 본 논문에서는 LS 추정 기반의 반복계산법을 통한 신호원 위치 추정 방법에 대해 다룬다.

### II. 본론

TDOA 및 FDOA를 이용한 이차 위치추정 기법은 다수의 수신단으로부터 얻어진 등위곡선의 교점으로부터 신호원의 위치를 추정할 수 있다. 이러한 비선형 추정 문제의 해를 유도하기 위해서는 이를 선형화하고 반복적으로 계산하는 방법이 일반적이며, 본 장에서는 신호원의 위치를 정밀하게 추정하기 위하여 다수의 수신단 쌍에서 얻어진 TDOA/FDOA 값을 Gauss-Newton 방법에 적용한 위치추정 기법을 설명한다.

LS 추정은 미지의 매개변수와 신호모델에 의한 예측치와 측정 값 및 시스템 오차에 의한 측정값과의 차의 제곱 합으로 정의되는 식 (1)과 같은 비용함수를 최소화하는 추정치를 유도하는 기법이다.

$$J(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} (x[n] - s[n;\theta])^2 \quad (1)$$

여기서  $\theta$ 는 추정하고자하는 미지의 변수,  $x[n]$ 은 측정값,  $s[n;\theta]$ 는 신호모델,  $N$ 은 측정데이터의 샘플수이다. 이러한 LS 추정의 해를 구하는 방법 중, Gauss-Newton 기법은 비선형 신호 모델을 Taylor 급수를 통해 식 (2)와 같이 선형화 한다.

$$\theta_{k+1} = \theta_k + (H^T(\theta_k)H(\theta_k))^{-1}H^T(\theta_k)(x - s(\theta_k)) \quad (2)$$

여기서  $H(\theta)$ 는 Jacobian 행렬로 식 (4)와 같다.

$$H(\theta)_{ij} = \frac{\partial s[i;\theta]}{\partial \theta_j} \quad (3)$$

식 (3)을 반복적으로 시행하여  $J(\theta_k)$ 값이 충분히 수렴되었을 때의  $\theta_k$ 가 최종적으로 변수  $\theta$ 의 추정치가 된다. 이러한 과정을 TDOA/FDOA 측정값과 신호모델에 적용하여 고정 신호원의 위치를 추정할 수 있다.

### III. 모의실험 결과

신호원의 위치추정 방법의 성능을 확인하기 위해서 그림 1과 같은 배치 및 운용상황에서 모의실험을 수행하였다. 이 때, 각 수신단은 1mach의 속도로 등속직선운동하며 신호원의 전송주파수를 10GHz, TDOA 오차는 10ns, FDOA 오차를 1Hz로 설정하였다. 그림 2는 그림1의 운용상황에서 제안된 방법을 100회 반복 수행하여 얻어진 추정치를 보여주고 있다.

### IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 LS 추정 기법 중 Gauss-Newton 방법을 이용한 TDOA/FDOA 정보 기반의 신호원 위치추정에 대해 설명 및 구현하고, 모의실험을 통하여 결과를 확인하였다. 이를 통해, 수신단의 최적 운용 및 정밀신

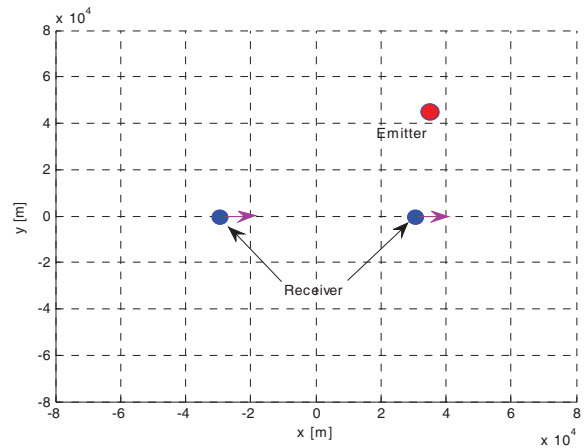


그림 1. 수신단 배치 및 운용상황.

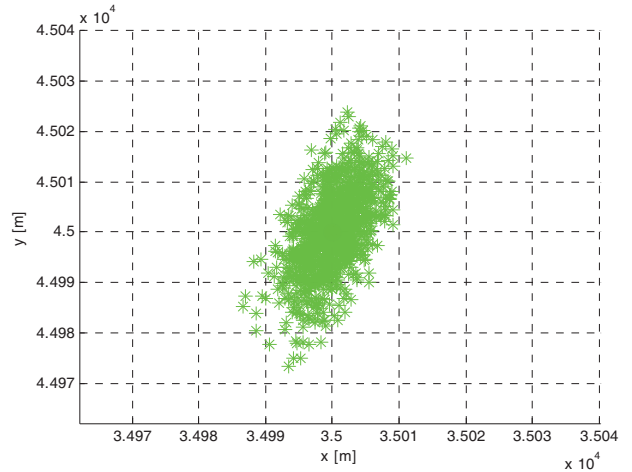


그림 2. TDOA/FDOA 위치추정 결과.

호원 위치 추정에 대한 연구에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] Darko Musicki and Wolfgang Koch, "Geolocation using TDOA and FDOA Measurements," In Proc. of 11th Int. Conf. on Inf. Fusion, pp.1-8, Cologne, Germany, Jun-July 2008.
- [2] K. C. Ho and Y. T. Chan, "Geolocation of a known altitude object from TDOA and FDOA measurements," IEEE Trans. on Aero. and Electro. Sys., Vol. 33, No. 3, July 1997.
- [3] David Adamy, "EW101 : A First Course in Electronic Warfare," Artech House, MA, 2001.
- [4] 조봉현, 이석형, "정밀타격, 유도무기 발전동향," 합장 제 22호, p233-245