

TDOA/FDOA를 이용한 이동 신호원의 위치추정 방법

김용희, 서기환, *한진우, *송규하, 김형남
 부산대학교 전자공학과
 *국방과학연구소
 e-mail : hnkim@pusan.ac.kr

Localization Method for a Moving Emitter Using TDOA and FDOA Measurements

Yong-Hee Kim, Ki-Hwan Suh, Jin-Woo Han, Kyu-Ha Song,
 Hyoung-Nam Kim

Department of Electronics Engineering, Pusan National University
 *Agency for Defense Development

Abstract

In this paper, the position location method for a moving emitter using TDOA (time difference of arrival) and FDOA (frequency difference of arrival) measurements is explained based on the Taylor series estimation. By proposed method, we are able to estimate the position and velocity of a moving emitter. In addition, simulations are included to examine and analyze the performance of the proposed method.

I. 서론

비협조적 신호원의 정밀한 수동 위치추정은 레이더, 전자전, 소나 및 무선통신 시스템과 같은 다양한 분야에서 활발히 연구되고 있다 [1], [2]. 특히, 기존의 도래각 정보 기반의 기법보다 높은 위치추정 정확도를 얻기 위해 TDOA 또는 FDOA 정보를 이용한 이차(quadratic) 기법에 대한 관심이 높아지고 있다 [3], [4]. 이러한 TDOA와 FDOA 기반의 기법은 신호정보의 측정 및 위치추정 과정에서 서로 상호보완적인 관계를 가지며, 다양한 기하학적 배치 형태에서 단일 정

보를 이용하는 경우보다 높은 정확도를 가지는 장점을 가진다. 본 논문은 이러한 TDOA와 FDOA 정보를 동시에 활용하여 이동하는 신호원의 위치좌표와 속도벡터를 추정하는 방법에 대해 설명하고 그 결과를 분석한다.

II. 본론

2.1 TDOA/FDOA를 이용한 위치탐지 개요

TDOA는 두 수신단에서 측정된 수신신호 간의 도착 지연 시간 차이를 의미하며, 식 (1)과 같이 정의된다. 이 때 측정된 TDOA 값에 대응되는 신호원의 위치는 쌍곡선 상의 임의의 지점에 존재하게 된다.

$$\tau_{21} = t_2 - t_1 = \frac{1}{c} (\|\vec{r}_2\| - \|\vec{r}_1\|) \quad (1)$$

FDOA는 두 수신단에 측정된 도플러 주파수의 차이를 의미하며 식 (2)와 같이 정의된다. 이 때 FDOA 곡선은 TDOA와는 달리 수신단의 위치와 속도에 따라 복잡한 형태의 곡선으로 정의된다.

$$\Delta f_{21} = \frac{f_0}{c} \left(\frac{\vec{r}_2}{\|\vec{r}_2\|} \cdot (\vec{\nu}_2 - \vec{\nu}_e) - \frac{\vec{r}_1}{\|\vec{r}_1\|} \cdot (\vec{\nu}_1 - \vec{\nu}_e) \right) \quad (2)$$

추정하고자 하는 신호원의 위치좌표는 TDOA 및 FDOA 값과 주어진 수신단의 위치/속도 정보를 통해 얻어진 비선형방정식의 해이며, 각 관측값에 해당하는 비선형 연립 방정식의 해를 구하여 얻어질 수 있다.

2.2 이동 신호원의 위치추정 방법

본 논문에서는 식 (3)과 같은 비선형 LS 추정 문제를 Taylor 급수를 이용하여 식 (4)와 같은 선형 LS 추정문제로 근사화한다. 그리고 식 (5)와 (6)을 통해 계산된 추정치의 증분을 이용하여 이전 추정치를 반복적으로 갱신한다 [5]. 이 때, 식 (3)의 첫 항은 실제 측정값, 두 번째 항은 추정치에 의해 계산된 예측값을 의미한다.

$$J(\hat{\mathbf{x}}_e) = \sum_{i=0}^{N-1} [\tilde{f}(t_i, \mathbf{x}_e) - f(t_i, \hat{\mathbf{x}}_e)]^2 \quad (3)$$

$$\tilde{f}(\mathbf{t}, \mathbf{x}_n) - f(\mathbf{t}, \hat{\mathbf{x}}_n) \approx \mathbf{H}[\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_n] + \mathbf{v} \quad (4)$$

$$\Delta \hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \Delta f(\hat{\mathbf{x}}_n) \quad (5)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{n+1} = \hat{\mathbf{x}}_n + \Delta \hat{\mathbf{x}} \quad (6)$$

III. 모의실험 결과

이동 신호원의 위치 및 속도 추정 방법의 성능을 확인하기 위해 그림 1과 같은 5개의 수신단의 동일한 방향으로 등속 운동하는 경우에 대하여 모의실험을 수행하였다. 이 때 신호원은 340m/s의 속도로 등속 운동하고 있으며, 반송주파수는 10GHz로 설정하였다. 제안된 방법을 50회 반복 수행하여 얻어진 결과와 신호원의 실제 위치와 속도를 그림 2와 3과 같이 도시하였다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 Taylor 급수 추정 기법을 이용한 TDOA와 FDOA 정보 기반 이동 신호원의 위치/속도 추정 방법을 제안하고 모의실험을 통하여 그 결과를 확인하였다. 이를 통해, 보다 정밀한 이동 신호원의 위치추정 및 표적 추적 기법의 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

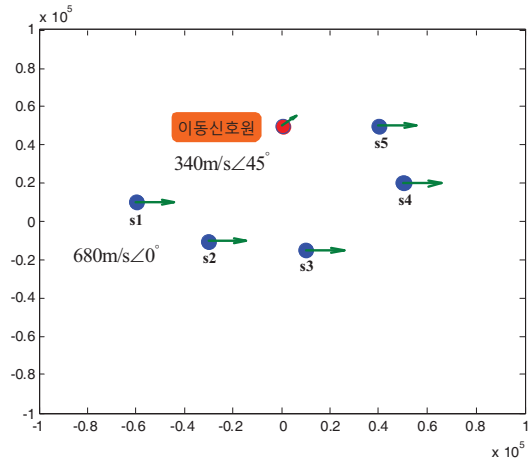


그림 1. 이동 신호원과 수신단의 배치

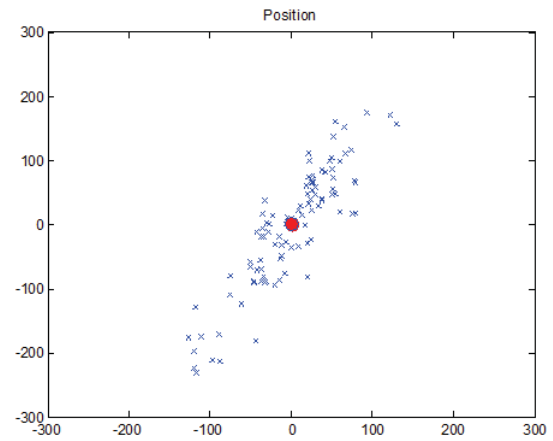


그림 2. 이동 신호원의 위치추정 결과

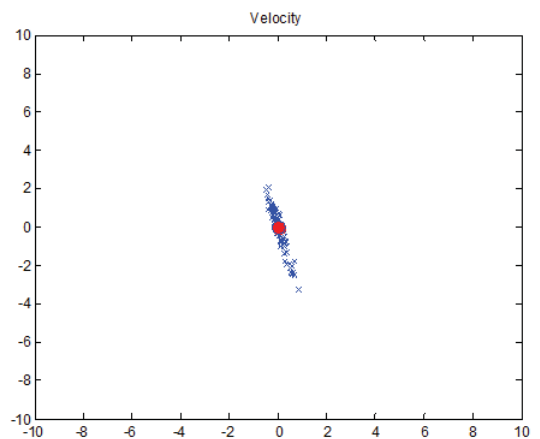


그림 3. 이동 신호원과 속도 추정 결과

참고문헌

- [1] Richard A. Poisel, "Electronic Warfare Target Location Methods," Artech House, MA, 2005
- [2] David Adamy, "EW101 : A First Course in Electronic Warfare," Artech House, MA, 2001.
- [3] K. C. Ho and Y. T. Chan, "Geolocation of a Known Altitude Object from TDOA and FDOA Measurements," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, Vol. 33, No. 3, July 1997
- [4] Harry L. Van Trees, "Detection, Estimation, and Modulation Theory : Part 1," John Wiley, 2001
- [5] Wade H. Foy, "Position-Location Solutions by Taylor-Series Estimation," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, Vol. 12, No. 2, March 1976