

FDOA 정보를 이용한 LSE 기반 신호원 위치탐지 기법

김동규, 김용희, 한진우*, 박진태*, 김형남
 부산대학교, *국방과학연구소

dkcspl@pusan.ac.kr, yongheekim@pusan.ac.kr,
 yahoo@add.re.kr, jtpark@add.re.kr, hnkim@pusan.ac.kr

LSE Based Geolocation Method Using FDOA Measurements

Dong-Gyu Kim, Yong-Hee Kim,
 Jin-Woo Han*, Jin-Tae Park*, Hyoung-Nam Kim
 Pusan National Univ., *Agency of Defense Development

요약

FDOA (Frequency Difference Of Arrival) 정보를 이용한 위치탐지 기법은 이동 수신단간의 도플러 주파수 차에 대응하는 등위선들의 교점으로부터 신호원의 위치를 추정한다. 이 때, 측정 도플러 주파수와 신호원 추정치는 비선형적 관계를 가지며, 이로 인해 추정과정의 복잡도가 증가하게 된다. 따라서 본 논문에서는 비선형 LSE 문제를 Taylor series 를 통해 선형화하여 신호원의 위치를 추정하는 FDOA 기반 위치탐지 기법을 제안하고, 그 결과를 살펴본다.

I. 서론

현대전에서는 정확하고 신속하게 위협 신호를 탐지 및 식별하고, 해당 신호원의 위치를 파악하기 위한 효율적인 수동 위치탐지 기술의 필요성이 높아지고 있다. 최근에는 TDOA 및 FDOA 와 같은 비도래각 기반의 정밀 위치탐지 기법에 관한 연구가 폭넓게 진행되고 있다. [1], [2] 이 중 FDOA 위치탐지 기법은 다수의 수신단에서 측정된 신호의 도플러 주파수 차이로부터 생성된 기하학적 등위선들의 교점으로 신호원의 위치를 추정한다. 이 때, 생성되는 등위선은 각 수신단의 배치형태와 속도벡터에 따라 다양한 형태를 가지게 된다. 따라서 FDOA 정보를 이용한 위치탐지 기법은 이동하는 수신단의 다양한 운용조건을 고려하여야 한다. 본 논문에서는 측정 FDOA 와 신호원 위치와의 비선형 관계식을 선형화하고, LSE 기반의 반복계산법을 통한 신호원 추정기법을 제안한다. 본문에서는 LSE 에 기반한 FDOA 위치탐지 기법을 설명하고 3장에서 결론을 맺는다.

II. 본론

LSE 기반 신호원의 FDOA 위치탐지 기법은 측정된 N 개의 FDOA 값과 신호모델에 의한 추정값의 차를 최소화하는 신호원 위치를 찾는다. 이러한 과정에 필요한 비용함수는 식(1)과 같고, FDOA 모델은 식(3)과 같다.

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

$$\mathbf{b}(t) = (\mathbf{P}(t) - \mathbf{P}_e) \quad (2)$$

$$f(t, \mathbf{x}) = \frac{f_0}{c} \left[\frac{\mathbf{V}_1(t) \cdot \mathbf{b}_1(t)}{|\mathbf{b}_1(t)|} - \frac{\mathbf{V}_2(t) \cdot \mathbf{b}_2(t)}{|\mathbf{b}_2(t)|} \right] \quad (3)$$

이 때, \mathbf{P}_e 는 신호원의 위치, $\mathbf{P}(t)$ 과 $\mathbf{V}(t)$ 는 각각 수신단의 위치벡터와 속도벡터를 나타낸다. 식 (3)의 FDOA 측정모델이 비선형 함수이므로 Taylor series 를 이용하여 식 (4)와 현재 추정치($\hat{\mathbf{x}}_e$)에 대해 근사화한다.

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

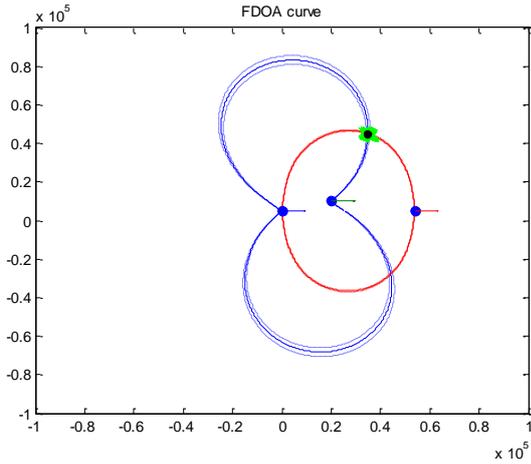
\mathbf{v} 는 선형화에 의한 고차 오차항을 의미하고 \mathbf{H} 는 식 (3)의 Jacobian matrix 이며 식(5)와 같이 정의된다.

$$\mathbf{H} = \left. \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} f(\mathbf{t}, \mathbf{x}) \right|_{\mathbf{x}=\hat{\mathbf{x}}_e} = [\mathbf{h}_1 \mid \mathbf{h}_2 \mid \mathbf{h}_3] \quad (5)$$

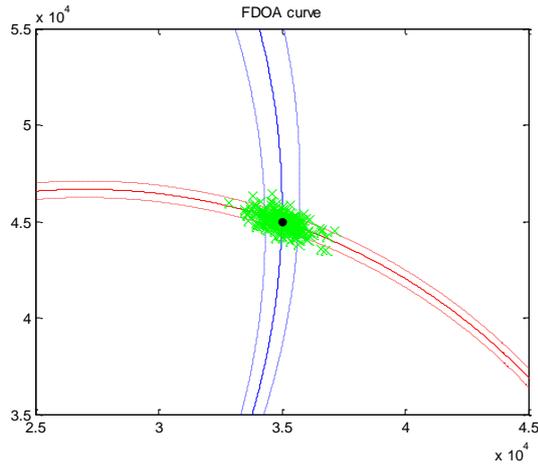
최종적으로 식 (4)를 식 (7)와 같이 정리하여 선형 LSE 문제로 변환한다.

$$\tilde{f}(\mathbf{t}, \mathbf{x}_e) - f(\mathbf{t}, \hat{\mathbf{x}}_e) \approx \mathbf{H}[\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_e] + \mathbf{v} \quad (6)$$

$$\Delta f(\mathbf{t}, \mathbf{x}_e) \approx \mathbf{H}\Delta \mathbf{x} + \mathbf{v} \quad (7)$$



(a)



(b)

그림 1. FDOA 등위곡선 및 LSE 기반 위치탐지 결과
(a) 수신단과 신호원의 기하학적 배치 및 등위선의 형태 (b) 제안된 방법에 의한 위치 추정치.

선형 LSE 의 해는 식 (8)과 같이 얻어지며, 이를 이용하여 신호원의 위치 추정치를 식 (9)와 같이 반복적으로 갱신한다.

$$\Delta \mathbf{x}_n = (\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \Delta f(\mathbf{t}, \mathbf{x}_n) \quad (9)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{n+1} = \hat{\mathbf{x}}_n + \Delta \hat{\mathbf{x}}_n \quad (10)$$

이 때, \mathbf{R} 은 측정오차의 공분산 행렬 (covariance matrix)이다. 반복계산을 위한 신호원 위치의 초기값은 다른 수신단의 정보를 사용하거나 전형적으로 추정되는 거리에 있는 값을 사용하며, 초기값의 정확도에 최종 위치탐지 결과가 큰 영향을 받는다. 제안된 LSE 기반 FDOA 위치탐지 기법을 검증하기 위하여 그림 1(a)와 같은 수신단과 신호원의 배치형태에서 수신단이 등속도로 이동하는 경우에 대해 모의실험을 수행하였다. 파란색 원은 수신단의 위치이며 검은색 원은 실제 신호원의 위치, 초록색 x 표시는 추정된 위치를 나타낸다. 모의실험에 이용한 FDOA 측정오차의 분산값은 $100[\text{Hz}^2]$ 이고 전송 주파수는 $10\text{G} [\text{Hz}]$ 이다. 그림 1(b)의 점선은 측정오차에 의해 왜곡된 등위선이며, 이 등위선 이 교차하는 부분이 추정 모호영역이다. 그림 1(b)에서 제안된 기법에 의한 추정치와 모호영역을 확대하여 나타내고 있다.

III. 결론

본 논문에서는 이동하는 수신단에서 측정된 FDOA 정보를 이용하여 고정 신호원의 위치탐지를 위한 LSE 기반 위치추정 방법을 제안하였다. 또한 모의 실험을 통해 등위곡선과 추정위치 간의 상관관계를 분석하였다. 이를 통해 위치탐지 성능의 정확도를 극대화하고 연산속도를 최소화할 수 있는 위치탐지 기법의 개발에 기여할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] 조봉현, 이석형, "정밀타격, 유도무기 발전 동향," *함정* 제 22호, p233-245
- [3] Darko Musicki and Wolfgang Koch, "Geolocation Using TDOA and FDOA Measurements," *In Proc. of 11th Int. Conf. on Inf. Fusion*, pp. 1-8, 2008
- [4] David Adamy, "EW101 : A First Course in Electronic Warfare," Artech House, MA, 2001.