

이동 수신단의 배치 및 운용조건에 따른 FDOA 특성분석

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

Generation Method and Analysis of FDOA According to the Deployment of Moving Receivers

Dong-Gyu Kim, *Kyu-Ha Song, *Jin-Woo Han, Yong-Hee Kim, Hyoung-Nam Kim
School of Electrical Engineering, Pusan National University
Agency for Defense Development

요약

FDOA 정보 기반 위치탐지 기법은 신호원과 수신단 사이에서 발생하는 도플러 주파수 차이 정보를 이용하여 비협조적인 신호원의 위치를 식별한다. 이 때, 수신단들의 배치형태 및 운용조건에 따른 FDOA의 특성은 전체 위치탐지 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 본 논문에서는 이동 수신단의 일반적인 배치형태에 따른 FDOA의 측정 특성을 분석한다.

I. 서론

현대전의 양상이 인명손실의 최소화와 조기 종결로 변화함에 따라 적 위협에 대한 기민한 대응과 효율적인 전략전술의 수립을 위한 전자전의 중요성이 크게 강조되고 있다. 따라서 보다 정확하고 신속하게 위협 신호를 감지 및 식별하고, 해당 신호원의 위치를 파악하기 위한 효율적인 수동 위치탐지 기술의 필요성이 높아지고 있다. 이러한 비협조적인 위협 신호원의 위치를 파악하기 위하여 도래각 정보를 이용하는 삼각기법 (triangulation)이 주로 사용되어 왔으며, 보다 정밀한 탐지를 위해 최근에는 TDOA (Time Different of Arrival), FDOA (Frequency Differenc of Arrival)와 같은 비도래각 기반의 정밀 위치탐지 기법에 관한 연구가 폭넓게 수행되고 있다 [1]-[4]. 하지만 수신단 간의 도플러 주파수 차이를 이용하는 FDOA 위치탐지 기법은 수신단의 고속이동을 통한 도플러 주파수 발생이 전제되어야 한다는 점에서 상대적으로 연구 결과가

부족하다. 또한 이동 수신단들의 배치 및 이동형태 등의 다양한 운용조건에 의해 FDOA 위치탐지 기법의 성능이 크게 변화하게 된다. 따라서 효율적인 FDOA 기반의 신호원 위치탐지 기법의 개발을 위해서는 다양한 운용조건 하에서의 측정되는 FDOA 특성을 정확히 분석하는 과정이 우선되어야 한다. 그러므로 본 논문에서는 수신단의 일반적인 배치형태와 운용조건에 따른 FDOA 특성을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 도플러 주파수를 결정하는 주요 요소들에 대해 살펴보고 3장에서는 수신단이 등속 운동을 하는 경우, 배치형태에 따른 FDOA의 측정 결과를 분석한다. 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 본론

FDOA 위치탐지 기법은 신호원과 수신단 사이의 상대적인 사선속도(radial velocity)의 변화에 의해 발생하는 도플러 주파수의 차이 정보를 이용하여 신호원의 위치를 탐지한다. 이 때 각 수신단에서 측정되는 도플러 주파수는 신호원과 해당 수신단을 연결하는 기준선과 속도벡터 간의 방향각, 그리고 각 속도벡터의 크기 및 전송 주파수에 의해 결정된다. 따라서 이동하는 수신단에서 연속적으로 변화하는 도플러 주파수를 생성하여 FDOA 값을 계산하기 위해서는 위에 언급된 변수들에 의해 도플러 주파수가 결정되는 과정을 우선 이해하여야 한다.

수신단이 이동하고 신호원이 고정되어 있다고 할 때 발생하는 도플러 주파수는 다음과 같이 정의된다.

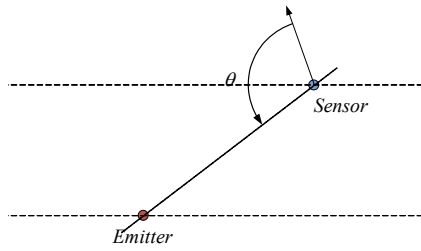


그림 1. 2차원 평면상에서 도플러 주파수 결정변수.

$$f' = f(1 + \frac{v}{c} \cos\theta) \quad (1)$$

여기서 f 는 전송주파수 이고, v 는 수신단의 속력이며, c 는 전송파의 속력, θ 는 그림 1에서 보이는 바와 같이 신호원과 수신단을 연결하는 기준선과 속도벡터 간의 방향각이다. 식(1)에서 정의된 도플러 주파수를 통해 두 이동 수신단간의 도플러 주파수의 차이인 FDOA는 아래와 같이 정의된다.

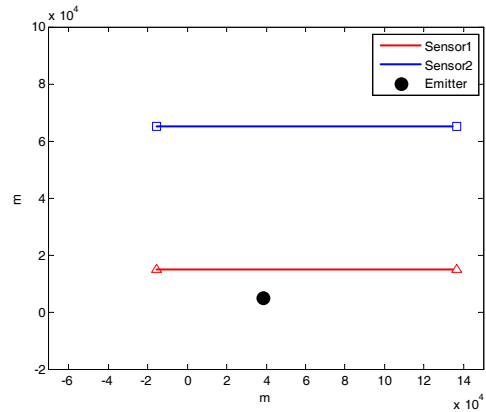
$$\Delta f = \frac{f}{c} (v_1 \cos\theta_1 - v_2 \cos\theta_2) \quad (2)$$

여기서 v_1, v_2 는 수신단 1, 2의 속력이며, θ_1, θ_2 는 각각의 수신단과 신호원을 잇는 기준선과 속도벡터 간의 방향각이다. 일반적인 수동탐지 환경에서 비협조적 신호원이 고정되어 있다면, 이 때 측정되는 FDOA 값은 이동하는 수신단의 배치와 운동형태에 의해 결정된다. 이러한 수신단의 운용조건에는 무수히 많은 경우의 수가 존재 하며 본 논문에서는 이러한 운용조건중 등속도로 움직이고 각 수신단을 연결하는 기준선과 속도벡터 간의 방향각이 수직 그리고 0° 인 두 경우를 고려한다.

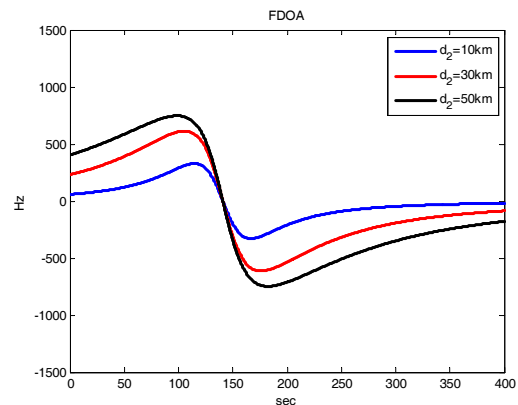
III. 시뮬레이션 결과 및 분석

제안된 FDOA 생성 기법을 검증하기 위하여 2개의 수신단이 등속 직선 운동을 할 때, 2가지 경우의 배치 형태 및 운용조건에서 FDOA를 생성하고 그 결과를 비교 분석하였다. 각 수신단은 380m/s의 등속 직선 운동을 가정하였으며 사용된 반송 주파수는 1Ghz이다. 본 모의실험에서는 신호원의 위치가 고정되어있다고 가정하였으므로, 신호원과 수신단을 연결하는 기준선과 속도벡터 간의 방향각의 변화량이 가장 지배적인 영향을 미치게 된다. 따라서 수신단 이동에 따른 방향각의 변화량을 기준으로 모의실험 결과를 분석하였다.

그림 2는 수신단의 배치형태가 각 수신단을 연결하는 기준선과 속도벡터간의 방향각이 수직인 경우일 때, 수신단 1을 기준으로 두 수신단간의 거리가 각각 10km, 30km, 50km으로 변화하며 측정된 FDOA 값을



(a) 수신단의 이동궤적 및 신호원의 위치

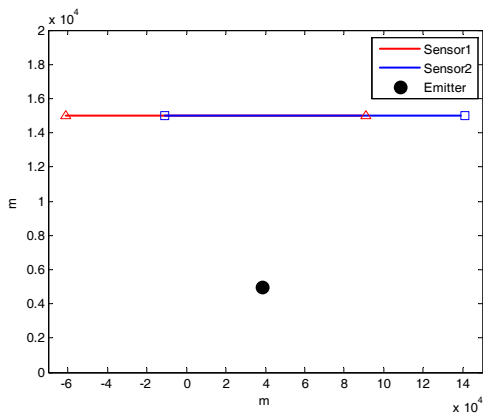


(b) 각 수신단의 거리 변화에 따라 측정된 FDOA
그림 2. 평행이동하는 수신단에서 측정된 FDOA

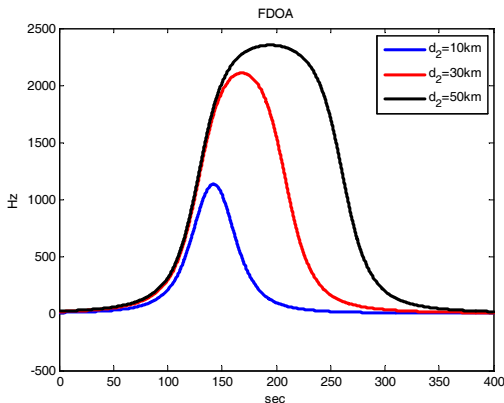
보여주고 있다. 신호원과 수신단 사이의 거리가 가까울수록 방향각의 변화량이 상대적으로 많아, 단일 수신단에서 측정되는 시간에 따른 도플러 주파수 값의 변화량도 커진다. 하지만 FDOA는 두 수신단 간의 도플러 주파수의 차이이므로, FDOA 값은 두 수신단 간의 거리에 큰 영향을 받는다.

즉, 다른 변수들이 고정되어 있다면, 수신단간의 거리가 멀어질수록 더욱 긴 시간 구간 동안 큰 값의 FDOA를 측정할 수 있다.

그림 5는 수신단의 배치형태가 각 수신단을 연결하는 기준선과 속도벡터간의 방향각이 0° 일 경우, 수신단 1을 기준으로 두 수신단 간의 거리가 각각 10km, 30km, 50km으로 변화하며 측정된 FDOA 값을 보여주고 있다. 각 수신단을 연결한 기준선 상에서 두 수신단이 등속 직선 운동을 하므로 수신단 2가 신호원에 근접하기까지는 두 수신단의 방향각이 유사하여 측정된 FDOA 값이 0에 가깝다. 하지만 수신단 2의 방향각이 90° 가 되는 시점부터 수신단 1의 방향각이 90° 가 되는 구간동안 큰 FDOA 값을 지속적으로 관측할 수 있다.



(a) 수신단의 이동궤적 및 신호원의 위치



(b) 각 수신단의 거리 변화에 따라 측정된 FDOA
그림 3. 동일선상에서 이동하는 수신단에서 측정된 FDOA

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 고정 신호원과 이동 수신단 간에 발생하는 도플러 주파수를 토대로 각 수신단의 배치 및 이동형태에 따른 FDOA 특성을 분석하였다. 이를 통해 수신단 및 신호원의 기하학적 배치와 측정 FDOA의 상관관계를 분석하였다. 추후 수신단의 운용조건이 FDOA 위치탐지 성능에 미치는 영향을 분석하여 최적 위치탐지 성능의 확보를 위한 운용조건에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] David Adamy, "EW101 : A First Course in Electronic Warfare," Artech House, MA, 2001.
- [2] 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.
- [3] 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.

- [4] 조봉현, 이석형, "정밀타격, 유도무기 발전동향," 항공 제 22호, p233-245