

이동 플랫폼에서의 실시간 등 FDOA 곡선 생성을 위한 방법

김동규· 김용희, 송규하*, 김산해*, 김형남
부산대학교 전자전기공학과, *국방과학연구소

Dong-Gyu Kim, Yong-Hee Kim, *Kyu-Ha Song, *San-Hae Kim, Hyoung-Nam Kim

II. 본론

초록: FDOA (Frequency Difference Of Arrival) 정보를 이용한 위치탐지 기법은 이동 수신단간의 도플러 주파수 차에 대응하는 등위선들의 교점을 계산하여 신호원 위치를 추정한다. 등위선이 쌍곡선의 형태를 가지는 TDOA 와는 달리, FDOA의 경우는 이동 수신단들의 배치형태와 속도벡터에 따라 임의의 곡선 형태를 가지게 된다. 따라서 FDOA 정보 기반의 위치탐지 기법을 개발하기 위해서는 이동하는 수신단의 운용조건에 따른 FDOA 등위선의 형태를 실시간으로 도식화하고, 이를 분석하는 과정이 요구된다. 본 논문에서는 이동 수신단의 다양한 배치 및 속도벡터에 따른 FDOA 곡선을 실시간으로 생성하는 방법을 제안하고, 기본적인 운용조건에서의 그 결과를 살펴본다

주제어: FDOA curve, Differential Doppler

I. 서론

현대전에서는 정확하고 신속하게 위협 신호를 감지 및 식별하고, 해당 신호원의 위치를 파악하기 위한 효율적인 수동 위치탐지 기술의 필요성이 높아지고 있다. 이러한 수동 위치탐지 기술로 최근에는 TDOA(Time Different Of Arrival), FDOA(Frequency Difference Of Arrival) 같은 비도래각 기반의 정밀 위치탐지 기법에 관한 연구가 폭넓게 진행되고 있다[1][2]. 이와 같은 위치탐지 기법들은 두 수신단에서 측정된 신호의 도착시각 혹은 도플러 주파수 차이로부터 기하학적 등위선을 생성하고, 이러한 등위선들의 교점에 대응되는 신호원의 위치를 추정하게 된다. 특정 TDOA 값으로부터 얻어진 등위선은 두 수신단을 초점으로 하는 쌍곡선의 형태를 가지게 되나, 특정 FDOA 값에 대응되는 등위선은 각 수신단의 배치와 속도 벡터에 따라 임의의 곡선 형태를 가지게 된다. 따라서 FDOA 정보에 기반한 위치탐지 기법을 개발하기 위해서는 이동하는 수신단의 운용조건에 따른 등위선의 형태를 실시간으로 도식하여 기하학적 특성을 분석하는 과정이 요구된다. 본 논문에서는 본론에서 수신단의 배치 및 이동형태에 따른 FDOA 등위 곡선을 실시간으로 생성하는 방법을 제안하고 시간에 따른 곡선의 변화특성을 분석한다. 마지막으로 3장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

도플러 주파수는 신호원과 수신단 사이의 상대적인 사선속도(radial velocity)에 비례하여 발생하며, 두 수신단에서 측정된 각 주파수로부터 FDOA 정보를 얻어낸다. 특정 FDOA 값에 의한 등위선을 실시간으로 생성하기 위해서는, 우선 수신단의 이동에 따른 각 도플러 주파수를 시간에 따라 연속적으로 생성하는 과정이 우선되어야 한다. 수신단이 이동하고 신호원이 고정되어 있는 경우 도플러 주파수는 다음과 같이 정의되며

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

이 때, f 는 전송 주파수, v 는 수신단의 속도, c 는 전송파의 속도, θ 는 가시거리와 속도 벡터간의 방향각이다. 이러한 도플러 주파수 식으로부터 두 수신단에서 측정된 신호를 차분하여, FDOA 값을 아래와 같이 얻을 수 있다.

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

v_1, v_2 는 각 수신단의 속도, θ_1, θ_2 는 각 수신단의 가시거리와 속도벡터 간의 방향각을 의미한다. 이 때 수신단의 이동에 의해 발생하는 식(2)의 주요 파라미터의 값을 연속적으로 갱신하여 매 샘플링 순간에서의 FDOA 값을 계산할 수 있다. 이러한 과정을 거쳐 얻어진 FDOA 값과 수신단의 기하학적 위치 및 속도 정보를 통해 아래 식과 같은 등위선을 유도할 수 있다.

$$\alpha_1(\alpha_2) = \alpha_{v1} + \cos^{-1} \frac{\Delta f \cdot c / f + \|v_2\| \cos(\alpha_2 - \alpha_{v2})}{\|v_1\|} \quad (3)$$

이 때, α_{v1} 은 v_1 의 각도성분이며, α_1 과 α_2 은 두 수신단을 연결하는 기저선(baseline)을 기준으로 하는 각 수신단에서의 방향각이다. FDOA 등위선을 얻기 위해서는, 우선 식 (3)을 통해 α_2 를 0° 에서 360° 로 변화하면서 이에 대응되는 α_1 값의 모든 순서쌍을 계산한다. 이때, 두 수신단의 위치가 알려져 있으므로, 두 수신단을 연결하는 기저선과 두 방위각 정보 α_1, α_2 를 통해 삼각형의 꼭지점을 얻을 수 있다. 위 과정을 통해 얻어진 꼭지점은 특정

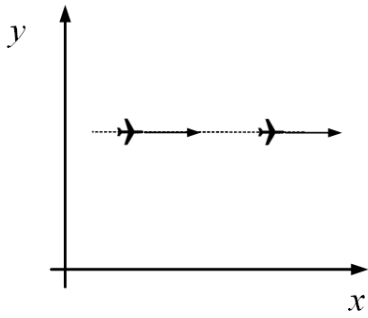


그림1. 수신단의 이동형태

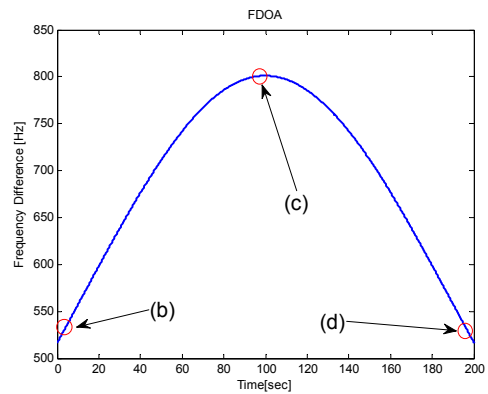
FDOA 값에 대한 신호원의 예상 위치를 의미하며, 모든 α_1, α_2 순서쌍에 구해진 각 점들을 연결하여 FDOA 등위선을 얻을 수 있다 [3].

본 논문에서는 제안된 FDOA 등위선의 실시간 도시 기법을 검증하기 위하여, 2개의 수신단이 그림 1과 같은 배치로 등속 직선 운동할 때의 FDOA 등위선을 연속적으로 생성하고 그 결과를 분석하였다. 이 때, 각 수신단은 380m/s의 등속 직선 운동을 가정하였으며, 고정 신호원의 반송주파수는 1GHz를 사용하였다.

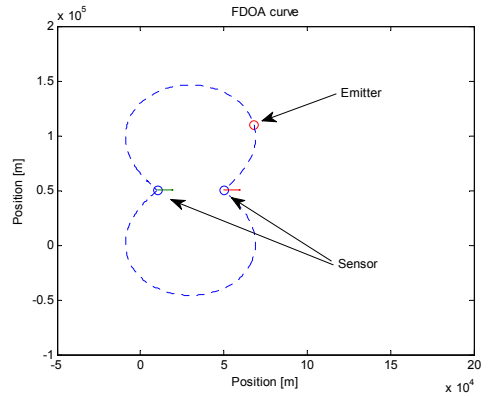
그림 1과 같은 배치 형태일 때, 시간에 따른 FDOA 값은 그림 2(a)와 같으며, 그림 2(b), (c), (d)는 각각 1, 100, 195s에서 얻어진 FDOA 등위선을 나타낸다. 각 결과가 얻어진 순간은 그림 2 (a)에 표시된 (b), (c), (d) 지점과 대응되며, 빨간색 원은 임의로 지정한 신호원의 위치, 초록색 원은 수신단의 위치, 실선은 수신단의 속도 벡터, 점선은 FDOA 등위선을 나타낸다. 그림 2(a)의 FDOA 값은 식 (2)에서 알 수 있듯이 각 수신단의 가시거리와 속도 벡터에 의한 방향각의 차와 비례하므로, 그림 2(b)와 같은 배치를 이룰 때 작은 값을 가지며, 시간이 지남에 따라 증가하여 100s 일 때 그림 2(c)와 같은 배치형태에서 가장 큰 값을 가진다. 이후 신호원과 수신단간의 가시거리와 속도 벡터에 의한 방향각의 차가 줄어들게 되므로, 결론적으로 FDOA 값은 시간에 따라 포물선의 형태를 가진다. 그림 2 (b), (c), (d) 에서 알 수 있듯이 수신단의 배치형태가 그림 1과 같고 속도 벡터의 크기가 동일할 경우, FDOA 곡선은 전체적으로 동일한 형태를 유지하면서 신호원의 위치를 포함하지만, 측정된 FDOA 값의 크기에 반비례하여 등위선으로 인한 폐곡면의 면적이 변화한다.

III. 결론

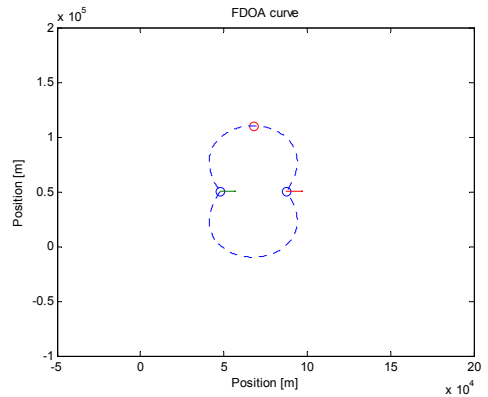
본 논문에서는 고정 신호원과 수신단이 이동할 때 시간에 따라 연속적으로 FDOA 값을 생성하고, 이를 이용하여 FDOA 등위선을 실시간으로 도시하는 방법을 제안하였다. 이를 토대로 일반적인 수신단의 배치형태와 등속 직선 운동의 경우에서 FDOA 측정값과 이에 대응되는 FDOA 등위선의 상관관계를 분석하였다. 추후 다양한 수신단의 배치와 속도 벡터의 형태에 따른 등위선의 변화



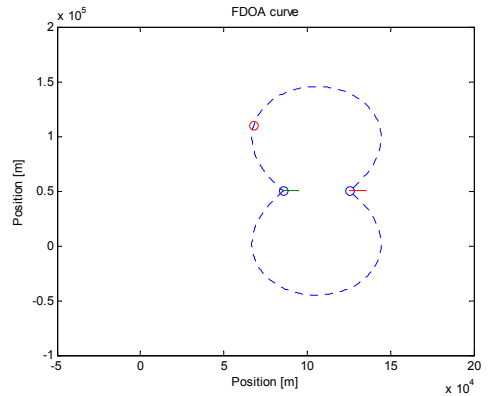
(a) 수신단의 거리 변화에 따라 측정된 FDOA



(b) 그림2 (a)에서 t=1s 일 때의 FDOA 등위선



(c) 그림2 (a)에서 t=100s 일 때의 FDOA 등위선



(d) 그림2 (a)에서 t=195s 일 때의 FDOA 등위선

그림 2. 실시간으로 생성된 FDOA 등위선

특성과 이에 따른 위치탐지 성능간의 관계에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

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