

신호 감쇄가 반영된 CEP 평면을 이용한 TDOA/FDOA 위치추정 성능 분석 방법

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

hnkim@pusan.ac.kr

The Analysis Method of TDOA/FDOA Localization Using CEP Plane with Gain Loss

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

요 약

TDOA(Time Difference Of Arrival) 및 FDOA(Frequency Difference Of Arrival) 위치추정 기법은 각 수신단에서 측정된 TOA(Time Of Arrival)와 도플러 주파수 차이에 대응하는 곡선들의 교점으로부터 신호원의 위치를 추정한다. 전자전 환경에서 일반적으로 신호원은 수신단들로부터 수십 km 까지 떨어져 있으며, 이에 따라 신호의 수신세기가 거리에 따라 감쇄하게 된다. 따라서 실제 운용환경을 보다 적절히 반영하기 위해서는 수신단간과 신호원의 거리 정보를 고려한 SNR 을 사용하여야 한다. 본 논문에서는 위치추정에 사용하는 TDOA/FDOA 신호모델에 레이더 방정식을 이용하여 신호감쇄 정보를 적용하고, 이를 통해 거리 정보를 반영한 CEP(Circular Error Probable)를 이용하여 성능평가를 수행하는 방법을 제안한다.

I. 서론

현대전에서는 정확하고 신속하게 위협신호를 탐지 및 식별하고, 해당 신호원의 위치를 파악하기 위한 효율적인 수동 위치추정 기술의 필요성이 높아지고 있다. 최근에는 TDOA 및 FDOA 와 같은 비도래각 기반의 위치추정 기법에 관한 연구가 폭넓게 진행되고 있다 [1], [2]. 이 중 TDOA 위치추정 기법은 수신단간 도착시간 차이 정보, FDOA 는 수신단간 도플러 주파수 차이로부터 생성된 기하학적 등곡선들의 교점으로 신호원의 위치를 추정한다. 신호원에서 방사된 신호는 거리에 따라 감쇄하게 되는데, 일반적인 전자전 환경에서 신호원은 수신단과 약 수십 km 정도의 이격거리를 가진다. 따라서 실제 SNR 은 거리에 따라 매우 큰 영향을 받게 된다. 또한, 각 수신단들도 약 수 km 내외의 간격으로 떨어져 있으므로 동일한 잡음환경에서도 수신되는 신호세기의 차이로 인하여 SNR 값이 달라지게 된다. 본 논문에서는 위치추정에 사용되는 TDOA/FDOA 신호모델에 거리에 따른 신호감쇄를 반영하고, 이를 바탕으로 유도되는 CEP 를 이용한 성능평가 방법을 제안한다.

II. 본론

신호원의 위치추정은 크게 측정단계와 추정단계 두 단계로 분류된다[3]. 이 때, 추정단계에서는 신호모델과 측정단계에서 측정된 TDOA 및 FDOA 값을 이용하는데 성능을 분석하기 위하여 측정치를 추정하는 추정기의 최적 성능은 CRLB(Cramer-Rao Lower Bound)를 [4] 통하여 유도될 수 있으며, 신호감쇄를 고려한 신호측정단계의 모델은 다음 식(1)과 같이 표현된다.

$$r_1(t) = \frac{1}{4\pi R_1^2} s(t - \tau_1) e^{2\pi f_1 t} + \omega(t) \quad (1)$$

$$r_2(t) = \frac{1}{4\pi R_2^2} s(t - \tau_2) e^{2\pi f_2 t} + \omega(t)$$

여기서 $r_1(t)$, $r_2(t)$, 그리고 $s(t)$ 는 각각 수신단 1 과 수신단 2 에 수신되는 신호, 그리고 신호원에서 방사되는 신호를 나타낸다. τ_1 과 τ_2 는 수신단에서 방사된 신호가 수신단에 도착하기까지의 시간이며, f_1 과 f_2 는 도플러 주파수를 나타낸다. 그리고 R_1 과 R_2 는 신호원과 각 수신단간 거리를 나타내며 $\omega(t)$ 는 가우시안 분포를 가지는 신호잡음을 의미한다. 이를 통해 TDOA 및 FDOA 의 CRLB 를 구하면 다음 식 (2), 식(3)과 같다.

$$\text{var}(\tau_1 - \tau_2) = \frac{1}{4\pi^2 \text{SNR} \cdot B_{rms}^2} \quad (2)$$

$$\text{var}(f_1 - f_2) = \frac{1}{4\pi^2 \text{SNR} \cdot T_{rms}^2} \quad (3)$$

여기서, B_{rms}^2 , T_{rms}^2 , 그리고 SNR 은 다음과 같이 정의된다.

$$B_{rms}^2 = \frac{\int_0^T f^2 |S(f)|^2 df}{\int_0^T |S(f)|^2 df} \quad (4)$$

$$T_{rms}^2 = \frac{\int_0^T t^2 |S(t)|^2 dt}{\int_0^T |S(t)|^2 dt} \quad (5)$$

$$\frac{1}{SNR} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{SNR_1} + \frac{1}{SNR_2} + \frac{1}{SNR_1 SNR_2} \right) \quad (6)$$

식 (6)에서 SNR_1 과 SNR_2 는 각각 수신단 1, 수신단 2 에서 신호대잡음비이다. 위 식을 위치추정 단계의 모델로 적용하여 모의 실험을 수행 하였으며, CEP 평면[5]을 적용하여 신호감쇄를 고려하지 않은 경우와 비교하였다. 그림 1 은 TDOA 오차의 표준편차가 10ns 일 때, CEP 평면을 나타낸 것이며, 그림 2 는 신호감쇄를 고려한 CEP 평면을 나타낸 것으로, 굵은 실선은 거리에 따른 오차의 표준편차가 10ns 가 되는 지점을 연결한 선이다. 그림 2 에서 오차의 표준편차가 10ns 이하의 값을 가지는 영역에서는 그림 1 에 비해 성능이 높았으며, 10ns 이상의 값을 가지는 영역에서는 성능이 낮은 것을 확인할 수 있다.

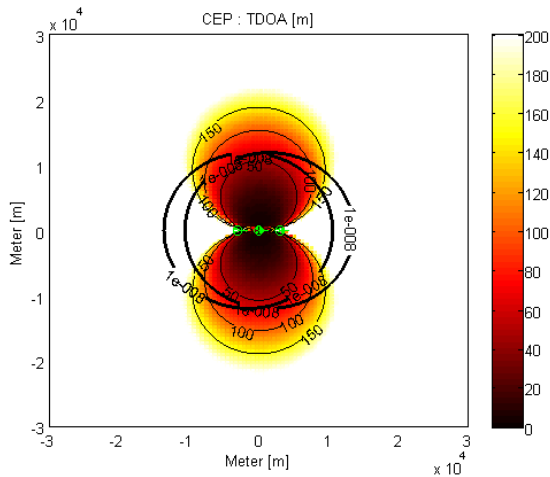


그림 1. 고정 TDOA 표준편차(10ns)에 의한 CEP 평면.

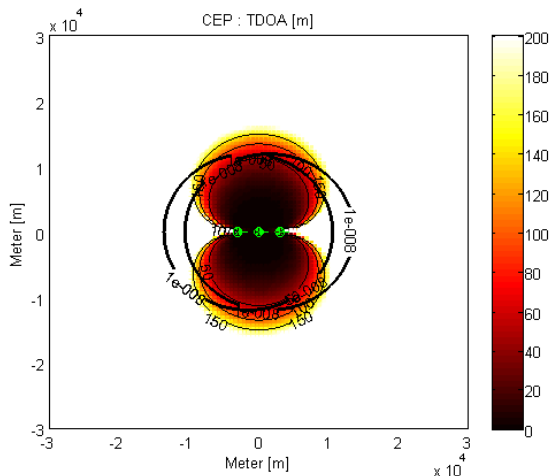


그림 2. 신호감쇄를 고려한 CEP 평면.

III. 결론

본 논문은 TDOA/FDOA 위치추정시스템에서 거리에 따라 감쇄하는 신호파위에 의한 영향을 반영하기 위하여 측정단계의 신호모델에 레이더 방정식(radar equation)을 적용하였으며, 모의실험을 통해 이로 인한 영향을

분석하였다. 향후 수신단간 신호감쇄를 고려하여 최대성능을 위한 최적배치에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] Darko Musicki and Wofgan Koch, " Geolocation using TDOA and FDOA Measurements," In Proc. Of 11th Int. Conf. on Inf. Fusion, pp.1-8, Coloqne, 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] Paradowski, L. R, "Microwave emitter position location : present and future" in Proc. Microwaves and Radar, 1998, vol.4, pp. 97-116.
- [4] Kay. S, "Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory" Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993
- [5] 김동규, 김용희, 김형남, " TDOA/FDOA 위치탐지 성능분석을 위한 CEP 평면," 제 25 회 신호처리합동학술대회, 2012, pp. 211-212