

FM 변조 신호에 대한 TDOA/FDOA 정보 추출 성능 분석

김동규, 김용희, 박진오*, 박영미**, 신옥현**, 김형남
 부산대학교, *LIG 넥스원

hnkim@pusan.ac.kr

Performance Analysis of the TDOA/FDOA extraction for FM Signals

Dong-Gyu Kim, Yong-Hee Kim, Jin-Oh Park*, Young-Mi Park**, Wook-Hyoun Shin**,
 Hyoung-Nam Kim
 Pusan National Univ., *LIG Nex1, **Agency for Defense Development

요 약

미상 신호원의 위치 추정은 전자전 지원 시스템의 주요 연구 분야로서, 최근에는 TDOA(time difference of arrival) 및 FDOA(frequency difference of arrival)를 이용한 위치 추정 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. TDOA/FDOA 위치 추정 시스템에서 추정의 정확도는 정보 추출 성능의 영향을 받으므로 TDOA/FDOA 정보 추출의 성능을 분석하는 것이 우선적으로 요구된다. 이 때, 미상 신호원이 FM 아날로그 변조 방식일 경우에 변조 파라미터인 주파수 편차(frequency deviation)에 따라 TDOA 및 FDOA 추출 성능이 변하게 된다. 따라서 본 논문에서는 CRLB(Cramer-Lao lower bound)를 이용하여 FM 변조 방식의 주파수 편차에 대한 TDOA 및 FDOA 정보 추출 성능을 분석하고, Stein's 알고리즘을 이용하여 그 결과를 검증한다.

I. 서 론

최근 전자전 지원 시스템에서 미상 신호원의 위치 추정 방법은 기존의 도래각 정보를 이용한 방법에 비해 정확도가 높은 TDOA/FDOA 정보를 이용한 위치 추정 방법에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다^{[1][2]}. TDOA는 미상 신호원에서 방사된 신호가 각 수신단에 도착한 시간 차이를 의미하며, FDOA는 주파수 차이를 의미한다. TDOA/FDOA 위치 추정 시스템은 TDOA 및 FDOA의 정보를 추출하는 단계와 추출된 정보를 이용하여 신호원의 위치를 추정하는 단계로 나뉜다^[3]. 따라서 위치 추정의 정밀도는 TDOA/FDOA 정보 추출 정확도의 영향을 받는다.

미상 신호가 통신 신호이고 변조 방식에 대한 사전 정보가 없을 경우, 다운 컨버터(down converter)를 이용하여 기저대역 신호를 획득할 수 있다. 이 때, 아날로그의 AM 방식 혹은 대부분의 디지털 변조 방식에 사용되는 업 컨버전(up conversion)에 대해서는 송신 신호의 기저대역 신호를 획득할 수 있다. 하지만 FM 변조 신호가 다운 컨버터를 이용하여 수신될 경우, 방사된 미상 신호의 기저대역 신호가 아닌 공간상으로 전파되는 변조 신호의 중심 주파수만 제거된 왜곡된 신호를 획득하게 된다. 이러한 왜곡된 신호를 바탕으로 TDOA/FDOA 정보 추정을 수행할 경우 FM 변조 방식에 사용되는 파라미터인 주파수 편차(frequency deviation)에 따라 성능이 변하게 된다. 본 논문에서는 CRLB를 이용하여 주파수 편차에 따른 FM 변조 신호의 TDOA 및 FDOA 추출 한계 성능을 유도하고 Stein's 알고리즘^[4]을 이용하여 이를 검증한다.

II. 본론

미상 신호원으로부터 공간상으로 전파되는 FM 변조 신호는 식 (1)과 같이 정의 된다.

$$s(t) = A_c \cos\left(2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t u(\tau) d\tau\right) \quad (1)$$

여기서 A_c 는 신호의 진폭, f_c 는 전송 주파수, $u(t)$ 는 메시지 신호이며, f_Δ 는 주파수 편차이다.

변조 방식을 알지 못하는 전자전 환경으로 인해 다운 컨버터를 이용하여 신호를 수신하게 될 경우, FM 변조 신호의 기저대역 수신 신호는 송신 신호의 전송 주파수만 제거된 식 (2)와 같은 왜곡된 신호를 획득하게 된다.

$$s(t) = A_c \cos 2\pi f_\Delta \int_0^t u(\tau) d\tau \quad (2)$$

따라서 수신 신호는 주파수 편차 f_Δ 및 메시지 신호에 따라 변하게 된다.

수신 신호에 대한 TDOA 및 FDOA 정보의 추정 성능은 CRLB를 이용하여 분석할 수 있으며, TDOA에 대한 CRLB는 식 (3), FDOA에 대한 CRLB는 식 (4)와 같이 유도된다^[4].

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{4\pi^2 B \cdot T \cdot SNR \cdot B_{rms}^2}, \quad B_{rms}^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f^2 |S(f)|^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} |S(f)|^2 df} \quad (3)$$

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{4\pi^2 B \cdot T \cdot SNR \cdot T_{rms}^2}, \quad T_{rms}^2 = \frac{\int_0^T t^2 |s(t)|^2 dt}{\int_0^T |s(t)|^2 dt} \quad (4)$$

여기서 B 는 수신기의 잡음 대역폭이고, T 는 수집 시간이다. 또한 B_{rms}^2 는 RMS(root mean square) 대역폭, T_{rms}^2 은 RMS 수집시간이고, SNR 은 신호 대 잡음 비로 식 (5)와 같이 정의된다.

$$SNR = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{SNR_1} + \frac{1}{SNR_2} + \frac{1}{SNR_1 SNR_2} \right) \quad (5)$$

여기서 SNR_1 과 SNR_2 는 각각 수신단 1 과 수신단 2 에서의 신호 대 잡음 비이다.

그림 1 은 주파수 편차가 각각 1kHz, 15kHz, 25kHz 그리고 75kHz 일 때, TDOA 의 CRLB 및 Stein's 알고리즘을 이용한 추정치의 RMSE 를 구한 것으로 100 회 반복 수행하여 계산하였으며, 그림 2 는 동일한 과정을 FDOA 에 대해 수행한 결과이다. 식 (3)으로부터 확인할 수 있듯이 f_{Δ} 가 커짐에 따라 TDOA 추정 성능이 향상되는 것을 알 수 있으며 그림 2 및 식 (4)에서 FDOA 성능은 f_{Δ} 와는 무관함을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 전자전 지원 시스템에서 미상 신호원의 위치를 추정하기 위하여 TDOA/FDOA 정보를 추출할 때, FM 변조 신호의 주파수 편차에 따른 성능을 CRLB 를 이용하여 분석하고 그 결과를 Stein's 알고리즘을 이용하여 검증하였다. 이를 통해 변조 파라미터인 주파수 편차 f_{Δ} 에 따라 TDOA 의 추정성능이 달라지는 것을 확인하였으며, FDOA 의 추정성능은 f_{Δ} 와 무관함을 확인하였다. 본 내용은 실제 위치추정 시스템에 적용될 때, 성능 지표로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Darko Musicki and Wolfgang Koch, " Geolocating using TDOA and FDOA Measurements," *In Proc. of 11th Int. Conf. on Inf. Fusion*, pp. 1-8, Cologne, 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*, vol. 4, pp. 97-116, 1998.
- [4] S. Stein, " Algorithms for ambiguity function processing," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, vol. ASSP-29, no. 3, pp. 588-599, Aug. 1993.

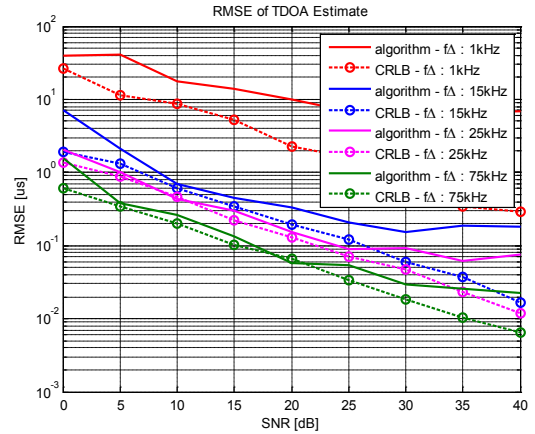


그림 1. 주파수 편차에 따른 TDOA 의 CRLB 및 RMSE

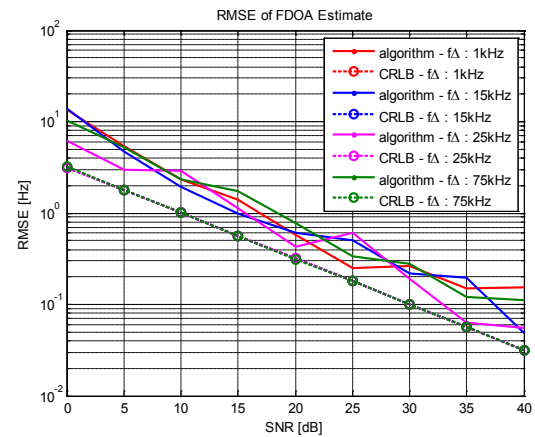


그림 2. 주파수 편차에 따른 FDOA 의 CRLB 및 RMSE