

# 신호원 위치의 편향성 및 센서 이동경로에 따른 선형 LSE 알고리즘 기반 신호원 위치 추정 성능

## Dependence of LOB-based Emitter Localization Performance on Bias of Emitter Location and Sensor Trajectory

이준호\*    조성우\*    김민철\*    진용기\*    이창훈\*\*  
Joon-Ho Lee    Seong-Woo Cho    Min-Cheol Kim    Yong-ki Jin    Chang-hoon Lee

### Abstract

In this paper, passive direction-finding localization of the emitter using noisy line-of-bearing (LOB) measurements is considered. The performance of the LOB-based emitter localization using linear LSE algorithm is given. The Dependence of the performance on bias of emitter location and sensor trajectory is illustrated using the numerical results.

Keywords : LOB(도래각), LSE(최소자승오차), Emitter Localization(신호원위치결정), Linear Algorithm(선형 알고리즘), Sensor Trajectory(센서 이동경로), Bias of Emitter Location(신호원 위치 편향성)

### 1. 서론

비협조적인(noncooperative) 위협 신호원위치식별방법은 크게 도래방위각의 교점을 이용하는 방법삼각기법, triangulation), 신호원과의 거리를 이용하는 방법(quadratic position-fixing), HF 주파수대에서 전리층의 반사를 이용하는 방법(SSL : Single Site Location) 등의 방법으로 분류된다.

전자정보 수집 장비는 전술 항공기에 탑재되어 항공기 이동에 따른 위협신호의 도래방위각만을 측정하

므로 항공기 이동에 따라 변화된 방향정보를 이용하여 위협신호의 위치를 식별하는 알고리즘 연구가 필요하다.

현재 국내 위협위치 식별기술은 3개 이상의 위치에서 동시에 측정된 방향정보를 각종 신호처리 알고리즘을 적용한 삼각기법으로 수행되고 있다.

삼각기법은 도래각(AOA : Angle Of Arrival)의 교점을 이용하여 신호원 위치를 식별하는 방법이다.

본 연구에서는 삼각기법 중 선형 LSE 알고리즘<sup>[1,2]</sup>을 기술한다. 센서의 이동경로에 대한 신호원 위치의 편향성이 신호원 추정의 위치의 정확성에 미치는 영향을 알아본다. 그리고, 신호원을 중심으로 직선경로로 센서가 이동하는 경우와 곡선경로로 센서가 이동하는 경우의 신호원 위치 추정 정확성을 알아본다.

† 2009년 5월 1일 접수~2009년 7월 10일 게재승인

\* 세종대학교

\*\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 이준호(joonhlee@sejong.ac.kr)

## 2. 선형 LSE(linear least-squared error) 알고리즘

Fig. 1로부터 거리 오차의 총합은 다음과 같이 주어진다<sup>[1,2]</sup>.

$$\begin{aligned}
 D &= \sum_{i=1}^N d_i^2 \\
 &= \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 x_T^2 + \sum_{i=1}^N 2a_i b_i x_T y_T - \sum_{i=1}^N 2a_i c_i x_T \\
 &\quad + \sum_{i=1}^N b_i^2 y_T^2 - \sum_{i=1}^N 2b_i c_i y_T + \sum_{i=1}^N c_i^2
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 a_i &= \sin \phi_i, \quad b_i = -\cos \phi_i \\
 c_i &= x_i \sin \phi_i - y_i \cos \phi_i
 \end{aligned}$$

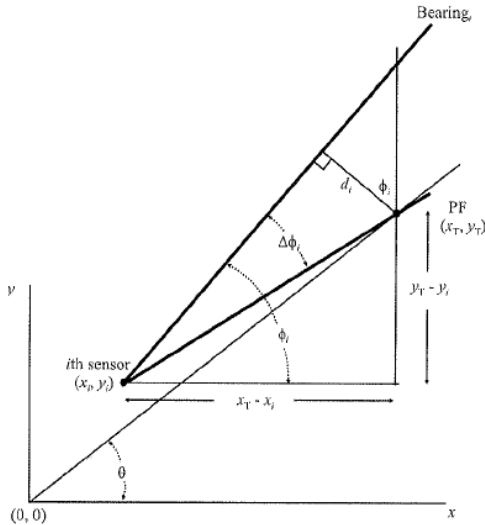


Fig. 1. 선형 LSE 알고리즘

거리 제곱의 합을 최소화하는 조건으로부터 신호원 위치의 추정치는 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{x}_T = [\mathbf{H}^T \mathbf{H}]^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{C} \tag{2}$$

여기서, 행렬은 다음과 같이 정의된다.

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_T = \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \end{bmatrix}, \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \\ \vdots & \vdots \\ a_N & b_N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_N \end{bmatrix} \tag{3}$$

## 3. 수치결과

센서가 장착된 항공기의 이동속도(speed)는 300m/sec로 일정하고, 도래각 추정의 시간간격은 3초이다. 도래각 추정오차의 표준편차는 1도이며, 동일 조건에서 1000번 반복 수행한 후, RMS 오차를 구하였다. Fig. 3, Fig. 5~7에서 y 축은 RMS 오차이므로, y 축의 값이 작을수록 정확한 추정을 의미한다.

동일한 조건에서 독립적인 정규분포를 갖는 잡음을 발생시켜 1000번 반복하였다. 잡음은 도래각 정보에 더해진다. 따라서, 동일한 조건에서 1000개의 CEP가 구해지며, 그 평균값을 도시하였다.

그리고, 1000번의 반복에 대한 RMS오차는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M ((\hat{x}^{(i)} - x^{(\text{true})})^2 + (\hat{y}^{(i)} - y^{(\text{true})})^2)}{M}} \tag{4}$$

신호원과 센서 사이의 거리는 Fig. 2와 Fig. 4에 표시하였다.

### 가. 편향된 신호원에 대한 LOB의 성능변화

Fig. 2와 같이 동일한 비행경로에 대하여 신호원의 위치가 각각 A, B, C에 있다고 가정한다. 즉, 비행경로에 대하여 신호원 A의 위치는 치우침이 없으며, 신호원 B는 조금 치우쳐 있으며, 신호원 C는 가장 많이 치우쳐있다. 평균적인 센서로부터 신호원까지의 평균적인 거리는 신호원 A가 가장 짧으며, 신호원 C가 가장 길다.

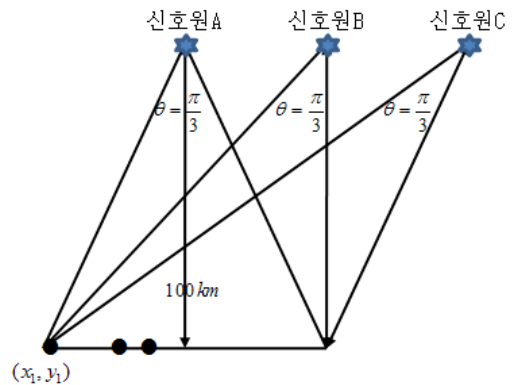


Fig. 2. 센서 이동 경로에 대한 신호원의 편향성

세 경로 모두 항공기의 전체 이동경로가 동일 할 때, 신호원 위치 변화에 따른 추정의 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

신호원과의 거리 및 편향성의 측면에서 가장 좋은 조건인 신호원 A에 대한 RMS 오차가 가장 작다. 반대로, 신호원과의 거리 및 편향성의 측면에서 가장 나쁜 조건인 신호원 A에 대한 RMS 오차가 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

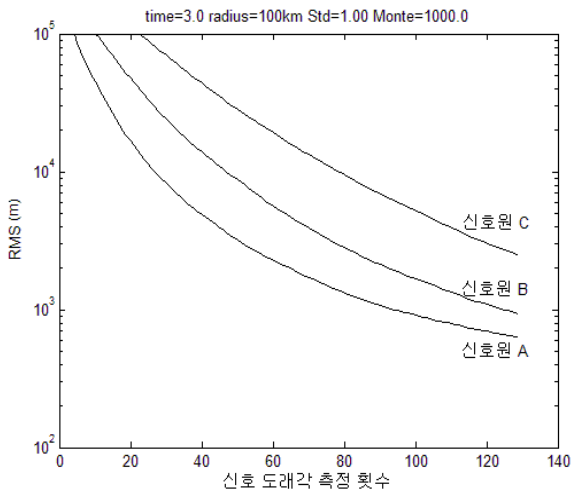


Fig. 3. 신호원 편향성에 따른 성능

나. 센서 이동경로 변화에 따른 성능 변화

Fig. 4와 같은 신호원 중심각이 변할 때, A, B, C의 비행경로를 가정한다. A경로는 작은 부채꼴의 호를 따라 움직이며, B경로는 직선, C경로는 큰 부채꼴의 호를 따라 움직인다.

큰 부채꼴의 반지름은 100km(10<sup>5</sup>m)이다. 비행경로 변화에 대한 추정의 결과를 Fig. 5~7에 나타내었다.

각 경로마다 신호 측정횟수가 증가할수록 추정의 오차가 작아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 5에서는 비행이동 경로가 짧아 수집횟수에 큰 차이가 없고, 신호원과의 거리도 비행경로 간 차이가 작다. 따라서 비슷한 성능이 나오는 것을 알 수 있다.

Fig. 6~7에서는 각 비행경로의 길이가 다르기 때문에 신호 도래각 측정횟수가 차이나는 것을 알 수 있다. 즉, A경로가 가장 짧고, C경로가 가장 길다. 따라서, 도래각 추정 간격이 3초로 동일하므로 신호도래각 총 측정회수는 A경로일 때 가장 작고, C경로일 때 가장 크다.

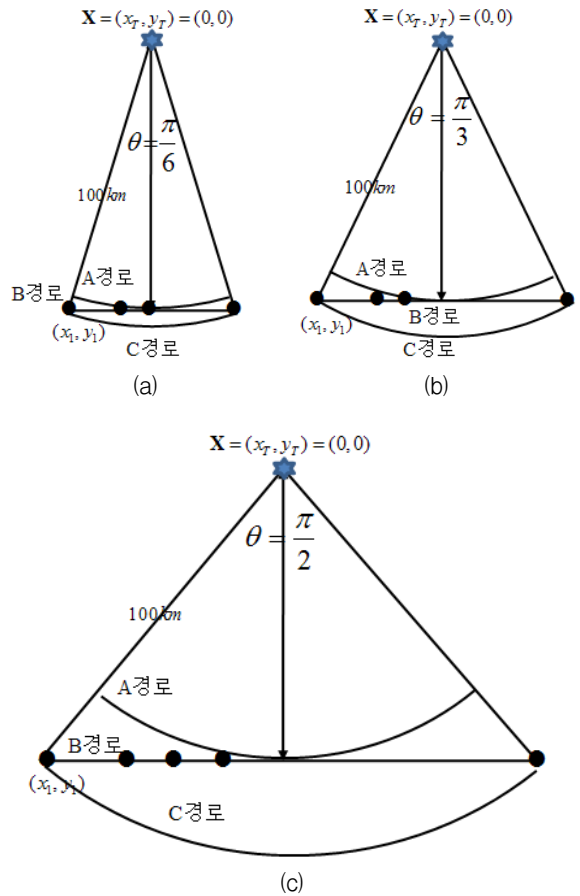


Fig. 4. 직선 및 곡선 센서 이동 경로 (a) 신호원 중심각 30도 (b) 신호원 중심각 60도 (c) 신호원 중심각 90도

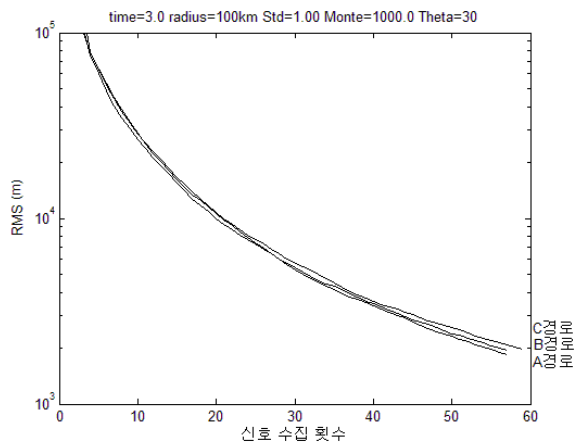


Fig. 5. 이동경로에 따른 성능(신호원 중심 30도 범위)

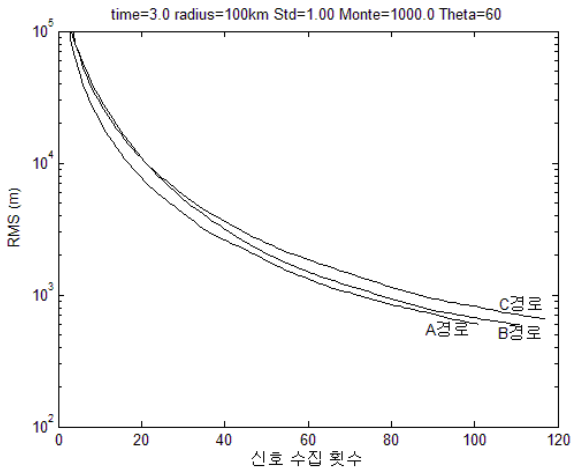


Fig. 6. 이동경로에 따른 성능(신호원 중심 60도 범위)

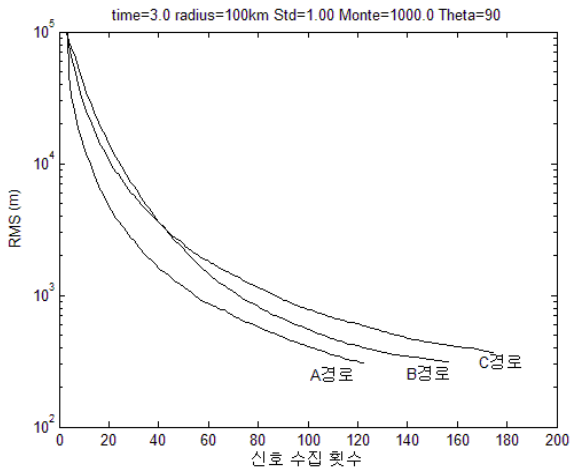


Fig. 7. 이동경로에 따른 성능(신호원 중심 90도 범위)

그리고 신호원과 이동경로와의 거리를 고려할 때, A 경로가 가장 가깝고, C 경로가 가장 멀다. 대체적으로 신호원과의 거리가 가까운 A 경로로 이동할 때의 추정 성능이 가장 좋고, C 경로로 이동할 때의 성능이 가장 나쁨을 알 수 있다. 단, 신호수집 횟수가 적을 경우에 B 경로의 이동할 때의 성능과 C 경로로 이동할 때의 성능이 바뀌는 현상을 볼 수 있다.

Fig. 5에서, 신호원 중심각 30도에서 센서가 이동하는 경우 신호수집회수에 따라, RMS 오차는  $2 \times 10^3$ m에서  $10^5$ m의 범위로 주어진다. 신호원 중심각 60도에서 센서가 이동하는 경우 신호수집회수에 따라, RMS 오차는  $6 \times 10^2$ m에서  $10^5$ m의 범위로 주어지며, 신호원 중

심각 90도에서 센서가 이동하는 경우 신호수집회수에 따라, RMS 오차는  $3 \times 10^2$ m에서  $10^5$ m의 범위로 주어진다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 센서 이동경로에 대한 신호원위치의 편향성에 따른 신호원 위치 추정의 정확성과 직선경로 센서이동과 곡선경로 센서이동에 따른 신호원 위치 추정의 정확성을 연구하였다.

센서 이동경로에 대하여 신호원 위치가 편향될수록 추정은 부정확해짐을 보였다. Fig. 5~7에 센서이동경로의 모양에 따른 추정의 성능을 보였다.

Fig. 2를 보면 신호원과 가장 가까운 센서의 거리는 100km 이다. 정확성의 제한조건을 RMS 오차 1km ( $10^3$ m)로 정한다고 가정한다. 이것은 100km 대비 1%로 RMS 오차를 정한 것이다. Fig. 3으로부터 위의 제한조건을 만족시키려면 약 100회 정도의 측정회수에서 신호원 A는 기준을 만족함을 알 수 있다. 신호원 B의 경우, 약 130회 정도의 측정회수에서 RMS 오차 조건을 만족하며, 신호원 C의 140회의 측정회수에서도 RMS 오차조건을 만족하지 못함을 알 수 있다.

Fig. 4에서 큰 호의 반지름은 100km이다. 반지름의 1%인 1km의 RMS 오차 조건을 Fig. 5~7에 적용할 경우, 오차조건을 만족하는 신호수집회수 조건은 다음과 같다. 신호원 중심각도 30도인 경우, 전체 경로에 해당하는 60회의 신호수집회수에서도 A 경로, B 경로, C 경로 모두 1% RMS 오차 조건을 만족하지 못한다. 신호원 중심각도 60도인 경우, A 경로의 경우 75회, B 경로의 경우 80회, C 경로의 경우 90회 정도의 신호수집회수에서 1% RMS 오차조건을 만족한다. 중심각 90도인 경우, A 경로의 경우 55회, B 경로의 경우 75회, C 경로의 경우 85회 정도의 신호수집회수에서 1% RMS 오차 조건을 만족한다.

#### 후 기

이 논문 또는 저서는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-331-D00341).

이 논문은 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연

구입(UD080002KD).

Measurements from a Moving Platform, NRL Report 8483, Naval Research Laboratory, Washington, DC, June 1981.

### Reference

[1] Brown R. M., Emitter Location Using Bearing

[2] Poisel, R. A., Introduction to Communication Electronic Warfare Systems, Norwood, MA : Artech House, pp. 384~388, 2002.