TDOA기법 기반의 다중 재머 위치 추정 알고리즘 설계

A Design of Multiple Jammers Localization Algorithm Based on TDOA Method

강 희 원* 임 덕 원* 허 문 범*
Hee Won Kang Deok Won Lim Moon-Beom Heo

Abstract

In case that multiple jammers are transmitting the signals which are the same type a general algorithm based on TDOA method cannot estimate the positions of multiple jammers because there are many TDOA measurements including true and false values. This paper, therefore, designs a new algorithm based on TDOA method to localize multiple jammers. In this algorithm, TDOA measurements are obtained by rotating the reference sensor, and then the positions of multiple jammers can be estimated by detecting congregated point among the multiple estimated positions from TDOA measurements. Through computer simulations, it is verified that this algorithm localizes the multiple jammers well. The performance of the algorithm are also analysed by changing the distance between sensors and jammer, and sampling frequency.

Keywords : TDOA Method(TDOA 기법), TDOA Measurement(TDOA 측정치), Localization(위치 추정), Multiple Jammers (다중 재머)

1. 서론

GPS(Global Positioning System)는 미국 국방부에 의하여 군사적 목적으로 개발된 시스템으로서 사용자에게 정확한 PVT(Position, Velocity, Time)를 제공하는 전파항법시스템이다. 군에서는 군용기, 탱크, 함정, 통신장비, 감시정찰장비, 정밀유도무기와 같은 대부분의 무기체계에서 GPS를 이용하고 있으며, 민간에서도 차량용 내비게이션, 휴대폰용 위치기반 서비스 및 통신

망 동기 시스템 등에서 GPS를 활용하고 있다. 그러나 GPS 위성은 상공 2만km에서 신호를 송신하기 때문에 지상에서 수신하는 GPS 신호의 전력은 잡음전력보다 낮아 재밍신호에 매우 취약하다^[1~4].

최근에 재밍신호에 의한 피해사례가 늘고 있으며, 군과 민간 모두에서 발생하였다. 2003년에는 이라크군이 재머를 사용하여 미군의 유도탄을 엉뚱한 곳에 떨어뜨렸다. 2007년에는 통신 두절 상황 훈련을 하기 위하여 미군 함정이 송신한 재밍신호로 인하여 샌디에고 주변의 여러 시스템들이 오작동되었다. 2010년에는 미국 뉴어크공항 인근 고속도로에서 트럭의 이동경로 감시를 피하기 위하여 사용한 휴대용 재머가 공항에서 사용하는 첨단 착륙유도장비에 고장을 일으켰다.

* 2012년 9월 24일 접수~2012년 11월 23일 게재승인

* 한국항공우주연구원(KARI)

책임저자 : 임덕원(dwlim@kari.re.kr)

또한 북한이 송신한 재밍신호로 인하여 우리나라에도 피해가 발생하였다. 2010년 8월에는 서해안 지역에서 몇 시간동안 GPS 신호 수신에 중단되었고, 2011년 3월에는 수도권 서북부 일대에서 휴대전화 시계의 오류와 통화품질이 떨어지는 현상이 있었다. 최근에 발생한 피해로 2012년 4월에는 인천공항, 서해안, 동해안에 걸쳐 400여 대의 항공기와 100여 척의 선박에서 GPS 수신기의 오작동이 보고되었다. 이와 같이 재머가 송신한 신호를 GPS 수신기가 수신할 경우 위치를 잘못 계산하거나 GPS 수신기로서의 기능을 제대로 수행하지 못하는 문제가 발생한다. 따라서 재밍신호에 의한 피해를 줄이기 위한 기술이 연구되어 왔으며, 최근에는 재머의 위치를 추정하는 기술이 활발하게 연구되고 있다^[5~13]. 재머의 위치추정기법으로는 신호의 전파도달시간을 이용하는 TOA(Time Of Arrival)기법, 신호의 전파도달시간의 차이를 이용하는 TDOA(Time Difference Of Arrival)기법, 신호의 도달 각도를 이용하는 AOA(Angle Of Arrival)기법, 신호의 세기를 이용하는 RSSI(Received Signal Strength Indication)기법 등이 있다^[14]. TOA기법은 송·수신시간 시각동기를 요구하고 RSSI기법은 정확도가 낮기 때문에 주로 TDOA기법과 AOA기법을 이용한다. 일반적으로 TDOA기법이 AOA기법보다 정확한 위치 추정 성능을 제공하는 것으로 알려져 있다^[5,6]. 따라서 본 논문에서는 재머의 위치 추정을 위하여 TDOA기법을 이용한다. TDOA기법은 기준센서와 임의의 다른 센서에서의 재밍신호의 도달지연시간차이로부터 재머의 위치를 추정하는 기법이다. 도달지연시간차이는 교차상관의 피크값을 통하여 구할 수 있으며, 도달지연시간차이를 측정치로 두고 일반적인 추정기법을 이용하여 재머의 위치를 추정한다. 그러나 다중의 재머가 송신한 신호를 교차상관하면 여러 개의 피크값이 발생하여 다수의 도달지연시간차이(TDOA 측정치)를 얻게되며, 다수의 TDOA 측정치는 구별할 수 없는 참값과 거짓값을 포함하므로 위치를 추정할 수 없다. 따라서 다중 재머의 위치를 추정할 수 있는 새로운 기법이 필요하다.

본 논문에서는 다중 재머가 존재하는 경우에 기준 센서를 바꿔가면서 재머 위치 추정을 수행하고, 군집하는 지점을 찾아냄으로써 다중 재머의 정확한 위치를 추정할 수 있는 TDOA기법 기반의 알고리즘을 제안한다. 또한, 모의실험을 수행하여 제안한 방법의 유효성을 검증한다.

2. 다중 재밍신호 입사시 TDOA기법 기반의 위치 추정 문제점

가. TDOA기법 기반의 위치 추정 원리

TDOA기법 기반의 위치 추정은 신호 도달지연시간차를 이용하여 위치를 추정하는 기법이다. 두 센서 간의 도달지연시간차이로 구한 재머의 위치는 쌍곡선의 형태로 나타나며, 여러 개의 쌍곡선의 교점을 구함으로써 재머의 위치를 알아낼 수 있다. Fig. 1은 TDOA기법 기반의 위치 추정 원리 개념도이다.

Fig. 1. TDOA기법 기반의 위치 추정 원리 개념도

임의의 두 센서에서의 도달지연시간차이는 교차상관함수(Cross-Correlation Function)를 이용하여 구할 수 있다. 교차상관함수의 정의는 식 (1)과 같다.

$$R_{ri}(\tau) \equiv E[s_r(t)s_i(t-\tau)] \quad (1)$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T s_r(t)s_i(t-\tau) d\tau$$

여기서, $s_r(t)$ 와 $s_i(t)$ 는 재머가 송신한 신호를 기준 센서와 i 번째 센서에서 각각 수신한 신호, T 는 신호의 주기, τ 는 지연시간이다.

Fig. 2는 기준센서와 임의의 i 번째 센서에서 수신한 신호에 대하여 교차상관한 결과를 나타낸 개념도이다. 송신한 신호의 주기가 도달지연시간차이보다 길다고 가정하면 교차상관결과는 1개의 최대값을 가진다. 이때, 최대가 되는 지연시간(τ_{ri})이 도달지연시간차이, 즉 TDOA 측정치이다.

TDOA 측정치로부터 재머의 위치를 알아내는 방법으로는 비선형식으로부터 직접 위치해를 계산하는

직접해풀이법과 비선형식을 선형화하여 선형식을 풀어 위치해를 구하는 간접해풀이법이 있다. 직접해풀이법에는 Smith와 Abel^[15]이 제안한 SX(Spherical Intersection)방법, SI(Spherical Interpolation)방법, Chan과 Ho^[16]가 제안한 QCLS(Quadratic Correction Least Square) 방법 등이 있으며, 간접해풀이법에는 Foy^[17]가 제안한 LS(Least Squares)방법이 있다. 본 논문에서는 직접해풀이법보다 정확한 해를 구한다고 알려져 있는 간접해풀이법의 LS방법을 이용한다.

Fig. 2. 교차상관 개념도(재머 1개)

재머의 위치를 알아내기 위하여 기준센서와 임의의 i 번째 센서간의 도달지연시간차이는 식 (2)와 같이 재머와 두 센서의 위치에 대한 함수로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}\tau_{ri} &= (t_r - t_s) - (t_i - t_s) \\ &= \frac{\sqrt{(x-x_r)^2 + (y-y_r)^2} - \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}{c} \\ &= f_{r,i}(x, y, x_r, y_r, x_i, y_i)\end{aligned}\quad (2)$$

여기서, t_s 는 재머가 신호를 송신한 시간, t_r 는 기준센서가 신호를 수신한 시간, t_i 는 i 번째 센서가 신호를 수신한 시간, (x, y) 는 재머의 위치, (x_r, y_r) 는 기준센서의 위치, (x_i, y_i) 는 i 번째 센서의 위치, c 는 빛의 속도, $f_{r,i}(x, y, x_r, y_r, x_i, y_i)$ 는 재머와 두 센서 사이의 도달지연시간차이이다. 식 (2)는 비선형식이므로 테일러 급수를 이용하여 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\tau_{ri} &= f_{r,i}(\cdot) \cong f_{r,i}(\cdot)|_{(x_0, y_0)} \\ &+ \frac{\partial f_{r,i}(\cdot)|_{(x_0, y_0)}}{\partial x_0} \delta x + \frac{\partial f_{r,i}(\cdot)|_{(x_0, y_0)}}{\partial y_0} \delta y\end{aligned}\quad (3)$$

$$\begin{aligned}&= \frac{1}{c} \sqrt{(x_0 - x_r)^2 + (y_0 - y_r)^2} - \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} \\ &+ \frac{1}{c} \frac{x_0 - x_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}} - \frac{x_0 - x_1}{\sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2}} \\ &+ \frac{1}{c} \frac{y_0 - y_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}} - \frac{y_0 - y_1}{\sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2}}\end{aligned}$$

여기서, (x_0, y_0) 는 재머의 초기위치이다. N 개의 센서가 존재할 경우에 대하여 기준센서를 1번째 센서로 두고, i 번째 센서를 2~ N 번째 센서로 두어 식 (3)을 전개하여 행렬식으로 표현하면 식 (4)과 같다.

$$\begin{aligned}\frac{1}{c} \begin{bmatrix} G_{x21} & G_{y21} \\ G_{x31} & G_{y31} \\ \vdots & \vdots \\ G_{xN1} & G_{yN1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \tau_{12} - \tau_{12}|_{(x_0, y_0)} \\ \tau_{13} - \tau_{13}|_{(x_0, y_0)} \\ \vdots \\ \tau_{1N} - \tau_{1N}|_{(x_0, y_0)} \end{bmatrix} \\ G\delta &= Z\end{aligned}\quad (4)$$

여기서, G_{xi1} 는 $\frac{x_0 - x_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}} - \frac{x_0 - x_1}{\sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2}}$, G_{yi1} 는 $\frac{y_0 - y_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}} - \frac{y_0 - y_1}{\sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2}}$, $\tau_{ri}|_{(x_0, y_0)}$ 는 $(\sqrt{(x_0 - x_r)^2 + (y_0 - y_r)^2} - \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2})/c$, δ 는 위치변화량, Z 는 잔차(측정치와 추정치의 차이, Residual)이다. 식 (4)로부터 위치변화량은 식 (5)와 같이 구할 수 있다^[17].

$$\hat{\delta} = [G^T Q^{-1} G]^{-1} G^T Q^{-1} Z\quad (5)$$

여기서, Q 는 측정오차의 공분산 행렬이다. 따라서 위치해는 초기위치에 구한 위치 변화량 $\hat{\delta}$ 를 더하여 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta \hat{x} \\ \delta \hat{y} \end{bmatrix}\quad (6)$$

최종적인 위치해는 한 번의 계산과정으로 구하지 않고, 식 (6)에서 구한 $(\hat{x}, \hat{y})$ 를 다시 초기위치로 두고 식 (3)~(6)까지의 과정을 반복하여 위치해를 업데이트한다. 이 과정은 $\hat{\delta}$ 의 크기가 미리 정해진 정지조건(Stop Condition)을 만족할 때까지 반복한다.

나. 다중 재밍신호 입사시 문제점

다수의 재머가 송신한 신호가 동일한 형태일 때, TDOA 측정치를 얻기 위하여 교차상관을 하면 다수의 피크가 존재한다. 예를들어 A, B 재머(2개)에서 송신한 신호를 각각 $s^a(t)$, $s^b(t)$ 라 하면, 교차상관식은 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} R_{ri}(\tau) &\equiv E[s_r(t)s_i(t-\tau)] \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T s_r(t)s_i(t-\tau) d\tau \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T ((s^a(t) + s^b(t))(s^a(t) + s^b(t))) d\tau \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T (s^a(t)s^a(t)) d\tau + \frac{1}{T} \int_0^T (s^a(t)s^b(t)) d\tau \\ &\quad + \frac{1}{T} \int_0^T (s^b(t)s^a(t)) d\tau + \frac{1}{T} \int_0^T (s^b(t)s^b(t)) d\tau \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, $s_r(t)$ 는 $s^a[t-(t_r-t_s)] + s^b[t-(t_r-t_s)]$, $s_i(t)$ 는 $s^a[t-(t_i-t_s)] + s^b[t-(t_i-t_s)]$ 이다. 이와 같이 2개의 재밍신호를 각 센서에서 수신한 경우, 기준센서와 i 번째 센서에서 수신한 신호를 교차상관하면 4개의 피크가 존재하며, Fig. 3과 같이 개념적으로 나타낼 수 있다. 즉, 원하지 않는 거짓값을 포함하여 4개의 TDOA 측정치를 얻을 수 있다. 이들 중 2개의 TDOA 측정치는 참값(τ_{ri}^{aa} , τ_{ri}^{bb})이고, 나머지 2개의 TDOA 측정치는 거짓값(τ_{ri}^{ab} , τ_{ri}^{ba})이다. 그러나 획득한 다수의 TDOA 측정치 중 어느 값이 참값인지 거짓값인지 알 수 없으므로 2개 이상의 재머가 존재할 경우에 일반적인 TDOA기법 기반의 위치 추정 알고리즘으로는 다중 재머의 위치 추정이 불가능하다.

Fig. 3. 교차상관 개념도(재머 2개)

만약, 센서의 개수가 4개일 때 $R_{12}(\tau)$, $R_{13}(\tau)$, $R_{14}(\tau)$ (1번째 센서가 기준센서)에서 구한 각각 4개의

TDOA 측정치를 3개씩 조합하여 일반적인 TDOA기법 기반의 위치 추정 알고리즘으로 위치를 추정하면 64개의 위치해가 추정된다. Fig. 4는 다수의 TDOA 측정치의 조합으로부터 추정한 다중 재머의 위치를 나타낸 개념도이다.

Fig. 4. 모든 측정치로부터 추정한 다중 재머의 위치 (재머 2개)

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 추정한 위치해는 A 재머에 대한 참 측정치의 조합($\tau_{12}^{aa}, \tau_{13}^{aa}, \tau_{14}^{aa}$)으로 구한 재머의 위치와 B 재머에 대한 참 측정치의 조합($\tau_{12}^{bb}, \tau_{13}^{bb}, \tau_{14}^{bb}$)으로 구한 재머의 위치 외에 62개의 거짓 위치를 포함하고 있으므로, 추정한 위치해 중 어느 값이 각 재머의 실제 위치인지 구별할 수 없다. 따라서 다수의 TDOA 측정치를 이용하여 위치 추정을 하더라도 실제 다중 재머의 위치를 알아낼 방법이 없다.

3. 다중 재머 위치 추정을 위한 TDOA기법 기반의 알고리즘 설계

본 논문에서는 동일한 형태의 다중 재밍신호가 발생하여 다수의 TDOA 측정치를 얻더라도 다중의 재머 위치를 추정할 수 있는 TDOA기법 기반의 알고리즘을 설계한다. 제안한 알고리즘은 기준센서를 변경하면서 얻은 TDOA 측정치를 이용한다. 재머가 2개이고 센서

가 4개 일 때, 모든 TDOA 측정치의 조합으로부터 위치를 추정하면 각 기준센서별 참 TDOA 측정치의 조합(A 재머에 대하여 $(\tau_{12}^{aa}, \tau_{13}^{aa}, \tau_{14}^{aa})$, $(\tau_{23}^{aa}, \tau_{24}^{aa}, \tau_{21}^{aa})$, $(\tau_{34}^{aa}, \tau_{31}^{aa}, \tau_{32}^{aa})$, $(\tau_{41}^{aa}, \tau_{42}^{aa}, \tau_{43}^{aa})$ 와 B 재머에 대하여 $(\tau_{12}^{bb}, \tau_{13}^{bb}, \tau_{14}^{bb})$, $(\tau_{23}^{bb}, \tau_{24}^{bb}, \tau_{21}^{bb})$, $(\tau_{34}^{bb}, \tau_{31}^{bb}, \tau_{32}^{bb})$, $(\tau_{41}^{bb}, \tau_{42}^{bb}, \tau_{43}^{bb})$ 의 조합에 대한 위치 추정의 결과는 Fig. 5와 같이 실제 재머의 위치 근처에 존재한다.

Fig. 5. 기준센서를 변경하여 얻은 모든 측정치로부터 추정된 다중재머의 위치(재머 2개)

따라서 본 논문에서는 이 점에 착안하여 다수의 위치해가 군집하는 지점을 찾아냄으로써 다중 재머의 위치를 추정할 수 있는 TDOA기법 기반의 다중 재머 위치 추정 알고리즘을 설계하였다.

Fig. 6은 N 개의 센서를 사각형으로 배치하고 M 개의 재머가 동일한 형태의 신호를 송신하는 경우, M 개의 재머 위치를 추정하기 위하여 설계한 알고리즘의 순서도이다.

먼저 N 개의 센서를 각각 한 번씩 기준센서로 바뀌가면서 교차상관을 수행하여 TDOA 측정치를 얻는다. 이렇게 얻은 모든 TDOA 측정치로부터 위치를 추정한다. 추정된 위치해들이 어느 사분면에 가장 많이 분포하는지를 판단하고, 주어진 검색셀(Searching Cell)의 크기에 대하여 식 (8)과 같이 검색범위(Searching Range)를 구한다.

Fig. 6. TDOA기법 기반의 다중 재머 위치 추정 알고리즘 순서도

$$(x_{SR}, y_{SR}) \quad (8)$$

$$\equiv \left(\frac{\hat{x}}{|\hat{x}|} \alpha \left\lceil \frac{\max(|\hat{x}|)}{\alpha} \right\rceil, \frac{\hat{y}}{|\hat{y}|} \alpha \left\lceil \frac{\max(|\hat{y}|)}{\alpha} \right\rceil \right)$$

여기서, α 는 검색셀의 크기이며, 정수이다.

그런다음, 검색간격(Searching Interval)만큼 이동하면서 각 검색셀마다 군집된 위치추정치가 있는지 탐색한다. 이때 군집된 위치추정치는 각 기준센서로부터 추정된 재머의 위치해 N 개를 말한다. Fig. 7은 검색범위 검색셀, 검색간격에 대한 관계 개념도이다.

탐색한 검색셀에서 N 개의 군집된 위치추정치가 있다면, 식 (9)와 같이 위치추정치간의 거리 ρ_{EP} 를 계산한다.

$$\rho_{EP} \equiv \sqrt{(\hat{x}_1 - \hat{x}_2)^2 + (\hat{y}_1 - \hat{y}_2)^2} \quad (9)$$

$$+ \sqrt{(\hat{x}_1 - \hat{x}_3)^2 + (\hat{y}_1 - \hat{y}_3)^2}$$

$$+ \dots + \sqrt{(\hat{x}_1 - \hat{x}_N)^2 + (\hat{y}_1 - \hat{y}_N)^2}$$

Fig. 7. 검색범위, 검색셀, 검색간격의 관계 개념도

여기서, $(\hat{x}_k, \hat{y}_k)$ 는 k 번째 센서가 기준센서 일 때 추정된 위치해이다. 각 검색셀에서 계산된 ρ_{EP} 중 최소값과 이 때의 군집된 위치추정치를 저장하며, 검색범위까지 모든 검색셀 탐색을 마치면 ρ_{EP} 값이 작은 순서로 M 개의 검색셀을 선정한다. 마지막으로 선정된 M 개의 검색셀에서의 N 개의 군집된 위치 추정치에 대한 평균값을 식 (10)과 같이 계산하여 다중 재머의 위치를 결정한다.

$$\begin{bmatrix} x_j \\ y_j \end{bmatrix} = \frac{1}{N} \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^N \hat{x}_k \\ \sum_{k=1}^N \hat{y}_k \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서, $j = 1, 2, 3, \dots, M$ 이다.

4. 모의실험

본 절에서 모의실험을 통하여 앞 절에서 다중 재머의 위치를 추정하기 위하여 설계한 알고리즘의 유효성을 검증한다.

가. 모의실험 환경

MATLAB기반에서 100회 Monte-Carlo 실험을 수행하였으며, 센서는 정사각형의 형태로 $(-2000, -2000)$, $(-2000, 2000)$, $(2000, -2000)$, $(2000, 2000)$ m에 배치하였다. 재머는 임의로 $(868.2, 4924)$ 와 $(2250, 3897)$ m에 위치한다고 가정하였다. 샘플링 주파수는 26.856MHz로

설정하였다. 재밍신호는 AWGN형태의 형태이고, 송신 전력은 5mW로 두었다. 검색셀의 크기는 2000×2000 m로 두었고 검색간격의 크기는 1000m로 두었다.

나. 기능 검증

모든 센서를 기준센서로 변경하면서 교차상관을 통하여 얻은 모든 TDOA 측정치로부터 재머의 위치를 추정한 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 참 TDOA 측정치와 거짓 TDOA 측정치의 모든 조합으로부터 다중 재머의 위치를 추정하기 때문에, 재머의 위치 추정치는 하나의 위치값으로 수렴하지 않고 넓게 분포하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8. 모든 센서를 기준센서로 바꿔가면서 추정한 재머의 위치(재머 2개)

Fig. 9. 설계한 알고리즘을 이용하여 다중 재머 위치 추정 결과

반면, 제안한 알고리즘으로 위치를 추정하면 Fig. 9와 같이 실제 다중 재머의 근방에 수렴하므로 제안한 알고리즘의 유효성을 확인 할 수 있다.

다. 성능 분석

센서와 재머의 거리 및 샘플링 주파수에 따라 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 다중 재머의 위치와 샘플링 주파수를 Table 1과 같이 4개의 경우로 설정하였다. 경우 2와 경우 4에서 샘플링 주파수는 경우 1과 경우 3보다 2배 높으며, 경우 3과 경우 4의 원점으로부터 각 재머까지의 거리는 경우 1과 경우 2에서보다 멀다.

Table 1. 다중 재머 위치 및 샘플링 주파수 환경

	샘플링 주파수 [MHz]	A 재머 위치[m]		B 재머 위치[m]	
		x	y	x	y
경우1	26.856	868.2	4924.0	2250.0	3897.1
경우2	53.712	868.2	4924.0	2250.0	3897.1
경우3	26.856	1736.5	9848.1	4500.0	7794.2
경우4	53.712	1736.5	9848.1	4500.0	7794.2

경우 1에 대한 결과는 Fig. 9와 같고, 경우 2~경우 4에 대한 결과는 Fig. 10~12에 각각 나타내었다. 각 재머의 위치 추정 오차는 RMSE(Root Mean Square Error)로 나타내었으며, 결과는 Table 2와 같다.

Fig. 10. 경우 2에 대한 다중 재머 위치 추정 결과

Fig. 11. 경우 3에 대한 다중 재머 위치 추정 결과

Fig. 12. 경우 4에 대한 다중 재머 위치 추정 결과

Table 2. 다중 재머의 위치 추정 오차

	A 재머 위치 추정 오차[m]			B 재머 위치 추정 오차[m]		
	x	y	Norm	x	y	Norm
Case 1	3.8	25.5	25.8	18.2	12.3	22.0
Case 2	4.3	18.3	18.8	11.6	10.4	15.6
Case 3	10.7	27.9	29.9	43.3	131.5	138.4
Case 4	7.1	23.4	24.5	28.8	62.2	68.5

Table 2로부터 동일한 샘플링 주파수일 경우, 재머의 위치가 센서로부터 멀어지면 위치 추정 성능이 떨어진다.

어지는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 재머가 동일한 곳에 위치할 경우, 샘플링 주파수가 높을수록 좋은 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 센서와 재머의 거리가 멀어질수록 위치 추정 성능은 떨어지나, 샘플링 주파수를 높임으로써 원하는 위치 추정 성능을 만족시킬 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 동일한 형태의 신호를 송신하는 다중 재머의 위치를 추정하기 위하여 TDOA기법 기반의 위치 추정 알고리즘을 제안하였다. 또한 모의실험을 통하여 재머가 2개이고 센서가 4개일 경우, 일반적인 TDOA기법 기반의 알고리즘을 적용하면 2개의 실제 재머 위치와 62개의 거짓 재머 위치를 추정하지만, 제안한 알고리즘을 적용하면 2개의 실제 재머의 위치를 추정하는 것을 확인하였다. 추가적으로 센서와 재머와의 거리 및 샘플링 주파수에 따른 성능을 분석하므로써 센서와 재머의 거리가 멀수록 위치 추정 성능이 떨어지며, 샘플링 주파수가 높을수록 위치 추정 성능이 좋아지는 것을 확인하였다.

추후에는 샘플링 주파수 및 클럭 정밀도에 따라 일반적인 성능 변화를 분석함으로써 더 높은 정확도로 다중 재머의 위치를 추정할 수 있는 기법을 설계할 것이다.

후 기

본 연구는 기초기술연구회의 “재난예방 및 국민안전 제고를 위한 위성기반 위치추적기술 연구” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

References

[1] 김병두, 김봉수, 최완식, “GNSS 표준화 동향 및 주요 표준화 기관”, 대한측량협회학회지 측량지, 통권 제77호, pp. 81~87, 2004.

[2] 신미영, 조성룡, 김준오, 송기원, 이상정, “GPS 신호기반의 특성 및 수신기에 미치는 영향 분석”, 한국군사과학기술학회지 제13권 제2호, pp. 296~

303, 2010년 4월.

[3] 조성룡, 신미영, 이상정, 박찬식, “의사거리 측정치를 이용하는 기반신호 검출 기법의 성능 비교”, 한국군사과학기술학회지 제13권 제5호, pp. 793~800, 2010년 10월.

[4] 주인원, 신천식, 김재현, 이점훈, 손승호, 이상욱, “GPS 전파교란 감시기술 동향”, 전자통신동향분석 제26권 제4호, 2011년 8월.

[5] 최현호, 진미현, 임덕원, 남기욱, 박찬식, 이상정, “전파위협원 위치결정을 위한 TDOA/AOA 기반의 DOA 추정 기법 연구”, 한국항행학회 논문지 제15권 제6호, pp. 962~969, 2011년 12월.

[6] 임덕원, 최윤섭, 이상정, 허문범, 남기욱, “AOA 기법을 이용한 재머 위치추적시스템 설계”, 한국항행학회 논문지 제15권 제6호, pp. 1241~1249, 2011년 12월.

[7] K. Gromov, D. Akos, S. Pullen, P. Enge, and B. Parkinson, “GIDL : Generalized Interference Detection and Localization System”, Proc. ION GPS 2000, 19-22, Salt Lake City, UT, Sept. 2000.

[8] A. Brown, D. Reynolds, “Civil Applications of the GPS Jamming Detection and Location(JLOC) System”, Presentations in National Physical Laboratory, Teddington. 23rd Feb. 2010.

[9] T. Kraus, R. Bauernfeind and B. Eissfeller, “Survey of In-Car Jammers - Analysis and Modeling of the RF signals and IF samples(suitable for active signal cancellation)”, Proc. ION 2011, pp. 430~435, Sept. 2011.

[10] J. R. Thompson, E. Cetin and G. Dempster, “Detection and Jammer-to-Noise Ratio Estimation of Interferers Using the Automatic Gain Control”, Proc. IGSS Symposium 2011, Nov. 2011.

[11] E. Cetin, J. R. Thompson, G. Dempster, “Interference Localisation within the GNSS Environmental Monitoring System(GEMS)”, Proc. IGSS Symposium 2011, Nov. 2011.

[12] C.-L. Chang, G.-S. Huang, “A Compressive Sampling Approach to Narrowband Interference Elimination for GNSS”, Proc. IGSS Symposium 2011, Nov. 2011.

[13] Z. Xu and M. Trinkle, “Interference Angle of Arrival Estimation within the GNSS Environmental

- Monitoring System(GEMS) using Antenna Arrays”, Proc. IGNSS Symposium 2011, Nov. 2011.
- [14] J. James, and J. Caffery, Wiresee Location in CDMA Cellular Radio Systems, Lluwer Academic Publishers, 2000.
- [15] J. O. smith and J. S. abel, “Closed-Form Least-Squares Source Location Estimation from Range-Difference Measurements”, IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 35, No. 12, pp. 1661~1669, Dec. 1987.
- [16] Y. T. Chan and K. C. Ho, “A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location”, IEEE Transactions On Signal Processing, Vol. 42, No. 8, August 1994.
- [17] W. H. Foy, “Position-location Solution by Taylor-series Estimation”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-12, No. 2, pp. 187~194, Mar. 1976.