

# 센서네트워크 내에서 TDOA 측정치 기반의 이동 표적 속도 정보 추정

## TDOA Based Moving Target Velocity Estimation in Sensor Network

김 용 휘\* · 박 민 수\*\* · 박 진 배\* · 윤 태 성†  
(Yong Hwi Kim · Min Soo Park · Jin Bae Park · Tae Sung Yoon)

**Abstract** - In the moving target problem, the velocity information of the moving target is very important as well as the high accuracy position information. To solve this problem, active researches are being conducted recently with combine the Time Difference of Arrival (TDOA) and Frequency Delay of Arrival(FDOA) measurements. However, since the FDOA measurement is utilizing the Doppler effect due to the relative velocity between the target source and the receiver sensor, it may be difficult to use the FDOA measurement if the moving target speed is not sufficiently fast. In this paper, we propose a method for estimating the position and the velocities of the target by using only the TDOA measurements for the low speed moving target in the indoor environment with sensor network. First, the target position and heading angle are obtained from the estimated positions of two attached transmitters on the target. Then, the target angular and linear velocities are also estimated. In addition, we apply the Instrumental Variable (IV) technique to compensate the estimation error of the estimated target velocity. In simulation, the performance of the proposed algorithm is verified.

**Key Words** : TDOA, FDOA, Moving Target Localization, Sensor Network, Least Squares, IV method

### 1. 서 론

센서 기반의 표적 위치 인식 기술은 의료, 군사, 산업, 민간 분야 등 현재 다양한 분야에 응용되고 있으며, GPS 위성 신호를 수신할 수 없는 환경에서 가능한 기술 처리 방법 및 인프라의 운용 기술 등을 고려하여 Cell-ID 방식, TOA(Time of Arrival), TDOA(Time Difference of Arrival) 방식, AOA(Angle of Arrival) 방식, Fingerprint 방식 등에 대하여 많은 관련 연구가 진행되고 있다 [1-5]. 특히 본 논문에서 다루는 TDOA 측정치는 전파 탐지기, 음파 탐지기, 운항 시스템, 센서 네트워크 등 많은 분야에 활용되고 있다. 무인기(UAV : Unmanned Aerial Vehicle) 분야에서는 움직이는 표적의 고정밀 위치 정보 뿐 아니라 속도 정보 또한 중요하기 때문에, 이를 위해 TDOA 측정치와 FDOA(Frequency Delay of Arrival) 측정치와 같은 이차

(quadratic) 정보를 같이 이용하는 방법에 대하여 활발한 연구가 진행되고 있다[6-9]. 수신기들의 속도 및 위치를 모두 안다는 가정 하에 Ho는 [7]에서 TDOA 및 FDOA 측정치를 이용한 이동 표적의 위치 정보에 대해 기술하였으며, 측정치 모델의 비선형성으로 인하여 발생하는 수렴 문제나 초기치 선정 문제를 해결하기 위해 2 단계의 가중 최소 자승 기법(Weighted Least Squares : WLS) 기법을 개발하였다. 또한 Ho et al. 은 [10]에서 수신 센서들에 위치 오차가 존재할 경우 TDOA 및 FDOA 측정치를 이용한 이동 표적의 위치 추정에 대하여 연구하였으며, Wei et al. 은 [11]에서 이동 표적의 위치 추정에 대하여 다차원의 스케일링 분석을 하였다.

그러나 FDOA 측정치는 표적(target)에 부착되어 있는 신호원과 측정 센서 간의 속도 차이에 의한 도플러 효과(Doppler effect)를 이용하는 주파수 지연 측정치로서 고속 표적일 경우에 적합하며, 실내 환경에서 다뤄지는 저속 이동 표적의 경우 FDOA 측정치를 이용하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 FDOA 정보를 사용하기 어려운 경우에 TDOA 정보만을 이용하여 이동 표적의 위치 및 속도 추정 방법을 제시한다. 표적에 2개의 신호 송신기를 부착하여 얻어지는 TDOA 측정치를 이용하여 일반적인 최소 자승 기법(Nominal Least Squares : NoLS) 기반의 표적 중심 위치 및 헤딩각도를 추정하며, 이를 이용하여 각속도 및 속도 정보를 추가적으로 추정한다. 또한 NoLS 기법만을 이용하여

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Changwon National University, Changwon, Korea.

E-mail: tsoon@changwon.ac.kr

\* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea.

\*\* Dept. of Electrical Engineering, Changwon National University, Changwon, Korea.

Received : December 08, 2014; Accepted : February 16, 2015

속도 추정치를 얻을 경우 표적의 heading각도 및 각속도의 추정치가 측정방정식의 측정행렬에 반영되어 있기 때문에 추정오차가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이를 보상하기 위해 IV (Instrumental Variable) 기법을 적용한다. IV 기법은 측정행렬끼리 또는 측정행렬과 측정잡음 간 상관성이 존재할 경우 측정행렬을 다른 행렬로 대체하여 상관성으로 인한 추정오차를 줄이는 방법이다[12-13].

본 논문의 2절은 논문의 배경이 되는 이론으로써, 2.1절에서는 TDOA 측정치 기반의 위치 추정 방법에 대하여, 2.2절에서는 복수 위치 정보를 이용한 이동 표적의 위치 및 heading각도를 추정하는 알고리즘에 대하여 기술한다. 3절에서는 추정된 위치 및 heading각도 정보를 이용하여 각속도 및 속도를 추정하는 알고리즘을 제안하며, 4절에서는 제안한 알고리즘의 성능 검증을 위하여 모의실험 결과를 기술한다. 모의실험 결과에는 제안한 알고리즘을 이용한 위치, heading각도, 각속도 추정 결과와, 속도 추정에 대하여 TDOA 및 FDOA 측정치를 함께 사용한 WLS 기법과 제안한 알고리즘의 성능 분석 비교가 포함되어 있다. 마지막으로 5절에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 배경이론

### 2.1 TDOA 기반 위치 추정

표적에 위치 정보를 얻기 위해 표적에 송신기를 부착하고  $m$ 개의 센서 노드로 구성된 2차원 평면 센서 네트워크를 이용한다고 가정하자. TDOA 측정치는 송신기에서 보낸 신호가 기준이 되는 수신센서와 다른 수신센서에 도달하는 시간 차이 ( $\tau_n - \tau_1$ )로 정의되며, 송신기 A의 신호로부터 기준 수신센서 및  $n$ 번째 수신센서로 얻어진 TDOA 측정치  $\tilde{r}_{n1}$ 는 신호의 전파속도  $c$ 에 의해 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\tilde{r}_{n1} = c \cdot (\tau_n - \tau_1) \quad (1)$$

여기서  $\tau_1$ 은 기준 수신 센서가 신호를 수신한 시간이며,  $\tau_n$ 은 나머지  $m-1$  개의 수신 센서 중  $n$ 번째 수신 센서가 신호를 수신한 시간을 의미한다.

또한 송신기 A, 기준센서,  $n$ 번째 센서의 위치를 각각  $(x_A, y_A)$ ,  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_n, y_n)$  라고 나타내었을 때, 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\begin{aligned} \tilde{r}_{n1} &= (d_A - d_n) - (d_n - d_1) + n_{n1} \\ &= \sqrt{(x_n - x_A)^2 + (y_n - y_A)^2} - \sqrt{(x_A - x_1)^2 + (y_A - y_1)^2} + n_{n1} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $d_A, d_1, d_n$ 은 각각 원점으로부터 송신기 A, 기준 센서,  $n$ 번째 센서까지의 거리를 의미하며 TDOA의 측정잡음  $n_{n1}$ 은 영 평균 백색 잡음으로 가정한다.

TDOA 측정치로부터 이동 표적의 위치를 얻기 위하여, 식 (2)

와 같은 비선형 모델을 테일러 급수(Taylor series) 전개 선형화를 통해 최소 자승 기법으로 반복적으로 최적해를 구하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 초기값의 선택에 따라 추정결과가 지역 최소점(local minima)으로 수렴하는 등 추정결과의 안정성을 보장할 수 없으며 최적의 추정치를 위해서 반복적인 계산을 이용해야 하는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 추정결과가 초기값 선택에 덜 민감하며 추정결과의 안정성을 높이기 위하여 비선형 방정식의 양변을 제곱하고  $d_{1i}$ 를 매개변수로 하여 얻을 수 있는 의사 선형 모델을 사용한다.

$$\begin{aligned} y_A &= (\tilde{H}_A - \Delta H_A) X_A + v_A \\ &= H_A X_A + v_A \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,

$$\begin{aligned} y_A &= \begin{bmatrix} \tilde{r}_{21}^2 - d_2^2 + d_1^2 \\ \tilde{r}_{31}^2 - d_3^2 + d_1^2 \\ \vdots \\ \tilde{r}_{n1}^2 - d_n^2 + d_1^2 \end{bmatrix}, X_A = \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ d_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_A \\ d_A \end{bmatrix}, v_A = \begin{bmatrix} 2\tilde{r}_{21}n_{21} - n_{21}^2 \\ 2\tilde{r}_{31}n_{31} - n_{31}^2 \\ \vdots \\ 2\tilde{r}_{n1}n_{n1} - n_{n1}^2 \end{bmatrix}, \\ \tilde{H}_A &= -2 \begin{bmatrix} (x_2 - x_1) & (y_2 - y_1) & \tilde{r}_{21} \\ (x_3 - x_1) & (y_3 - y_1) & \tilde{r}_{31} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (x_n - x_1) & (y_n - y_1) & \tilde{r}_{n1} \end{bmatrix}, \Delta H_A = -2 \begin{bmatrix} 0 & 0 & n_{21} \\ 0 & 0 & n_{31} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & n_{n1} \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

이렇게 구성된 의사 선형 모델을 기반으로 최소 자승 기법을 이용하여 다음과 같이 송신기 A 위치의 최적해를 얻을 수 있다.

$$\hat{X}_A = (\tilde{H}_A^T \tilde{H}_A)^{-1} \tilde{H}_A^T y_A \quad (4)$$

### 2.2 복수 위치 정보를 이용한 heading각도 추정

일반적으로 표적의 위치를 얻기 위해 표적에 1개의 송신기를 부착하는데, 그림 1과 같이 표적에 2개의 송신기를 부착하여 복수 위치 정보를 얻으면 표적의 중심 위치뿐 아니라 heading각도 정보를 함께 추정하는 것이 가능하다.

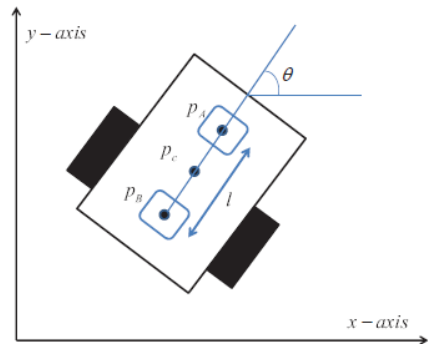


그림 1 송신기 위치 및 표적의 중심 좌표와 heading각도  
Fig. 1 Transmitter positions on the target and center position and heading angle of the target

복수 송신기의 위치를 각각  $p_A$ ,  $p_B$ 라고 정의하였을 때, 이들을 표적의 중심으로부터 일정거리  $l$ 만큼 일직선으로 떨어뜨려 위치시키면 표적의 중심좌표  $p = (x_t, y_t)$ 와 헤딩각도  $\theta$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} p &= \frac{1}{2}(p_A + p_B) \\ \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix} &= \frac{1}{l}(p_A - p_B) \end{aligned} \quad (5)$$

2.1절에서 언급한 바와 같이, 식 (4)를 통해 얻을 수 있는 송신기들의 위치들을 식 (5)에 대입하면 표적의 중심좌표  $\hat{p} = (\hat{x}_t, \hat{y}_t)$  및 헤딩각도  $\hat{\theta}$ 를 얻을 수 있다. 정지 표적의 경우 식 (3)의 측정오차  $v_A$  및  $v_B$ 의 편향성이 매우 작고 영 평균 백색 잡음이라고 가정하면 일정 시간동안 얻은 측정치를 누적시켜 추정 결과가 참값에 수렴하도록 하는 것이 가능하다. 그러나 이동 표적의 경우에는 위치가 계속 변하기 때문에 매 스텝에서 얻어진 측정치만 사용할 수 있으며, 따라서 위와 같은 최소 자승 기법으로 얻어진 표적의 위치와 헤딩각도 추정치는 측정치의 신호 대 잡음비(SNR)에 민감하며 그에 따른 추정 오차가 포함된다.

### 3. 위치 및 헤딩각도 정보를 이용한 각속도 및 속도 추정

이동 표적의 속도 정보를 얻기 위해 TDOA 측정치 뿐 아니라 FDOA 측정치를 추가로 이용하는 방법이 있다. 하지만 실내 환경에서 저속으로 움직이는 표적에 대하여 FDOA 측정치를 얻기 어렵다. 이번 절에서는 추가적인 FDOA 측정치를 사용하지 않고 TDOA 측정치만으로 얻은 위치 및 헤딩각도 정보를 이용한 이동 표적의 각속도 및 속도 추정 알고리즘을 소개한다.

각 수신기들로부터 샘플링 시간  $\Delta t$  마다 TDOA 측정치를 얻고, 이동 표적이 일정한 헤딩각도로 이동한다고 가정하면,  $k$  스텝의 각속도  $w_k$  는  $w_k = \frac{\theta_k - \theta_{k-1}}{\Delta t}$  에 의해 다음과 같이 최소 자승 기법으로 얻을 수 있다.

$$w_k = \{ (H_\theta^k)^T H_\theta^k \}^{-1} (H_\theta^k)^T z_\theta^k \quad (6)$$

여기서 위첨자  $k$ 는 누적된 데이터의 개수를 의미하며 측정치  $z_\theta^k$ 는 2.2절에서 얻을 수 있는 헤딩각도 추정치들로 구성 가능하다. 또한 측정행렬  $H_\theta^k$ 는 샘플링 시간으로 구성된다.

$$\begin{aligned} z_\theta^k &\equiv [\hat{\theta}_2 - \hat{\theta}_1 \quad \hat{\theta}_3 - \hat{\theta}_2 \quad \dots \quad \hat{\theta}_k - \hat{\theta}_{k-1}]^T \\ H_\theta^k &\equiv [\Delta t(1) \quad \Delta t(2) \quad \dots \quad \Delta t(k)]^T \end{aligned} \quad (7)$$

다음으로 이동 표적이  $v$ 의 속도로 이동한다고 가정하고  $k$  스텝에서 이동 표적의 위치를  $p_k$ 라고 할 때, 이동 표적의 위치 및 속도는 다음과 같은 관계를 만족한다[12].

$$\begin{cases} p_{k+1} = p_k + \begin{bmatrix} \frac{-\sin\theta_k + \frac{-\sin(\theta_k + w_k\Delta t)}{w_k}}{\cos\theta_k - \frac{\cos(\theta_k + w_k\Delta t)}{w_k}} \\ \frac{w_k}{w_k} \end{bmatrix} v_k & (w_k \neq 0) \\ p_{k+1} = p_k + [\Delta t] v_k & (w_k = 0) \end{cases} \quad (8)$$

이동 표적의 속도  $v$ 에 대해 값은 알지 못하지만 상수라면, 위의 식(8)을 이용하여 이동 표적의 속도를 추정할 수 있다. 이 때, 이동 표적의 위치, 헤딩각도, 각속도의 정보는 앞서 최소 자승 기법 기반으로 얻은 추정치들을 사용한다.

$$\hat{v}_k = \{ (\tilde{H}_v^k)^T \tilde{H}_v^k \}^{-1} (\tilde{H}_v^k)^T z_v^k \quad (9)$$

여기서 측정행렬  $\tilde{H}_v^k$ 는 각속도  $w_k$ 에 따라 다음과 같이 두 경우로 나뉘어 이동 표적의 헤딩각도 및 각속도의 추정치들과 샘플링 시간으로 구성되며, 본 논문에서는 각속도가 0이 아닌 경우를 다루고 있다. 또한 측정치  $z_v^k$ 는 이동 표적의 위치 추정치를 이용하여 다음과 같이 구성된다.

$$\begin{aligned} \tilde{H}_v^k &\equiv [\tilde{H}_v(1) \quad \tilde{H}_v(2) \quad \dots \quad \tilde{H}_v(k)]^T \\ \begin{cases} \tilde{H}_v(k) = \begin{bmatrix} \frac{-\sin\hat{\theta}_k + \frac{-\sin(\hat{\theta}_k + \hat{w}_k\Delta t)}{\hat{w}_k}}{\cos\hat{\theta}_k - \frac{\cos(\hat{\theta}_k + \hat{w}_k\Delta t)}{\hat{w}_k}} \\ \frac{\hat{w}_k}{\hat{w}_k} \end{bmatrix} & (w_k \neq 0) \\ \tilde{H}_v(k) = [\Delta t] & (w_k = 0) \end{cases} \\ z_v^k &= [\hat{p}_2 - \hat{p}_1 \quad \hat{p}_3 - \hat{p}_2 \quad \dots \quad \hat{p}_k - \hat{p}_{k-1}]^T \end{aligned}$$

식 (9)와 같이 NoLS 기법으로 표적의 속도를 추정할 경우, 측정행렬  $\tilde{H}_v^k$ 을 구성하고 있는 표적의 헤딩각도 및 각속도 추정치의 불확실성에 따른 추정오차가 발생하며, 이를 보상하기 위해 IV 기법을 적용한다. IV 기법은 측정행렬끼리 또는 측정 행렬과 측정잡음간 상관성이 존재할 경우 측정행렬을 다른 행렬로 대체하여 상관성으로 인한 추정오차를 발생되지 않게 하는 기법이다[13-14].

$$\hat{v}_k = \{ (M_v^k)^T \tilde{H}_v^k \}^{-1} (M_v^k)^T z_v^k \quad (10)$$

여기서  $M_v^k$ 는 이동표적의 속도 추정치의 추정오차를 줄여주기 위한 IV 행렬로서, 다음과 같이 일반적으로  $H_v^{k-1}$ 로 구성되며  $O^{2 \times 1}$ 는  $2 \times 1$  영행렬을 의미한다.

$$M_v^k = \begin{bmatrix} O^{2 \times 1} \\ H_v^{k-1} \end{bmatrix}$$

### 4. 모의실험 및 결과

본 논문에서는 제안한 이동 표적의 속도 정보 추정 알고리즘을 검증하기 위하여 TDOA 측정치를 얻을 수 있는 센서 네트워크를 설정하였다. TDOA 측정치는 그림 1에 나타난 바와 같이 이동 표적에 부착한 2개의 송신기로부터 나온 신호가 기준 수신 센서 노드에 도달하는 시간과 다른 센서 노드에 도달하는 시간 차이를 이용하여 얻어지며, 전체 센서 네트워크는 2차원 평면의 총 6개의 수신 센서 노드들로 구성된다. 그림 2의 좌표 상에 나타난 바와 같이 기준 센서 노드를 (0, 0)에, 나머지 센서 노드들은 (1450, 0), (1450, 2900), (0, 2900), (-1450, 2900), (-1450, 0)[mm]에 위치시켰다. 또한 이동 표적을 초기 위치 (-800, 1000)[mm]에서 초기 heading각도 0°으로 일정한 속도 30[mm/sec]와 각속도 1[deg/sec]로 총 50 스텝 동안 움직이게 설정하였으며, 1000번의 반복 실험을 통해 얻은 데이터들의 평균값으로 제안한 알고리즘의 성능을 분석하였다. 이 때 TDOA 측정치는 샘플링 시간 1[sec] 마다 얻어지도록 설정하였고, TDOA 측정잡음 공분산은 총 세 가지( $10^1$ ,  $10^{1.5}$ ,  $10^2$  [mm<sup>2</sup>])로 FDOA 측정잡음 공분산은  $10^{-1}$ 로 설정하였다.

그림 3과 그림 4는 NoLS 기법 기반으로 표적에 부착된 2개의 송신기의 위치 추정치  $\hat{p}_A$ 와  $\hat{p}_B$ 로부터 얻은 이동 표적의 매 스텝 중심 위치 및 heading각도 추정치의 평균 제공근 오차를 나타낸 그림이며, TDOA 측정잡음 공분산에 따라 각각 세 가지 결과를 보여준다. TDOA 측정잡음 공분산이 작을수록, 센서 네트워크의 중심에 가까울수록 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 5는 세 가지 TDOA 측정잡음 공분산에 따른 NoLS 기법 기반의 이동 표적 매 스텝 각속도 추정치의 평균 제공근 오차를 나타낸 결과이다. 각속도 추정 역시 TDOA 측정잡음 공분산이 작을수록 추정 성능이 좋은 것을 확인할 수 있으며, 스텝이 진행됨에 따라 추정오차가 줄어드는 것은 각속도 추정 시 앞서 얻은 위치 및 heading각도 정보를 누적시켜 사용하기 때문이다.

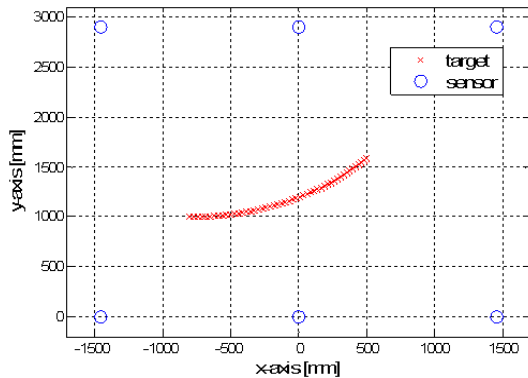


그림 2 센서 네트워크 및 이동 표적의 경로  
 Fig. 2 Sensor network and moving target trajectory

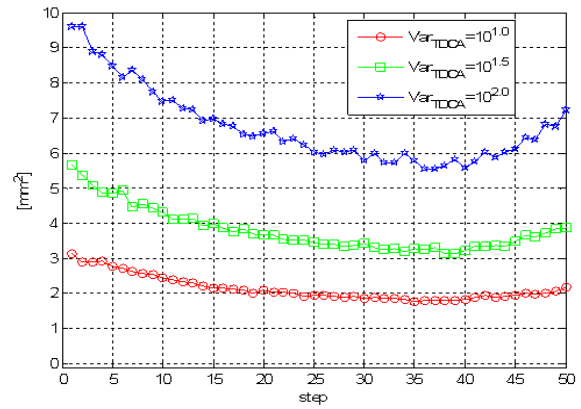


그림 3 TDOA 측정잡음 공분산에 따른 이동 표적 위치추정치의 평균 제공근 오차  
 Fig. 3 RMSE for position of target according to the TDOA measurement noise variance

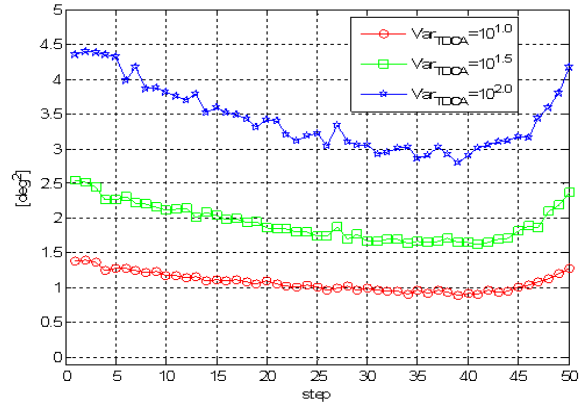


그림 4 TDOA 측정잡음 공분산에 따른 이동 표적 heading각도 추정치의 평균 제공근 오차  
 Fig. 4 RMSE for heading of target according to the TDOA measurement noise variance

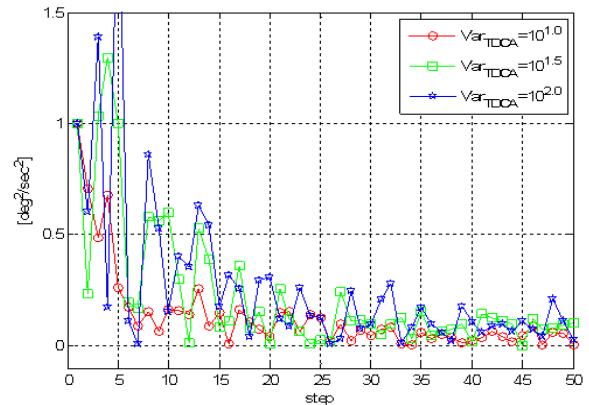


그림 5 TDOA 측정잡음 공분산에 따른 이동 표적 각속도 추정치의 평균 제공근 오차  
 Fig. 5 RMSE for angular velocity of target according to the TDOA measurement noise variance

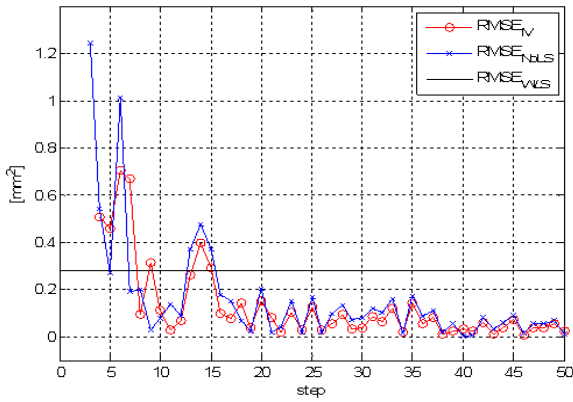


그림 6 NoLS, IV, WLS 기법 기반 이동 표적 속도 추정치의 RMSE (TDOA 측정잡음 공분산= $10^1$ )

Fig. 6 NoLS, IV, WLS based RMSE for velocity of target (TDOA measurement noise variance= $10^1$ )

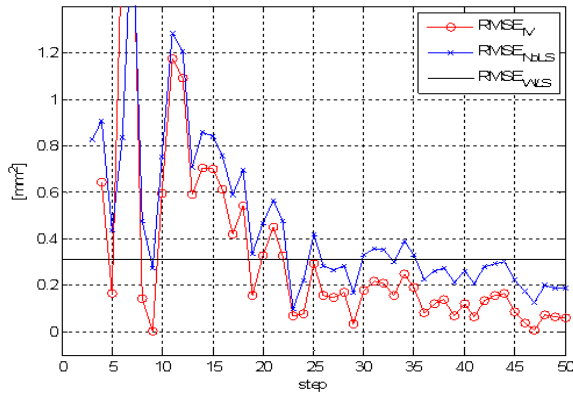


그림 7 NoLS, IV, WLS 기법 기반 이동 표적 속도 추정치의 RMSE (TDOA 측정잡음 공분산= $10^{1.5}$ )

Fig. 7 NoLS, IV, WLS based RMSE for velocity of target (TDOA measurement noise variance= $10^{1.5}$ )

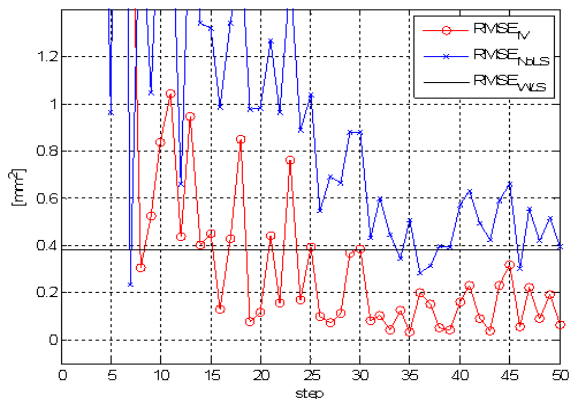


그림 8 NoLS, IV, WLS 기법 기반 이동 표적 속도 추정치의 RMSE (TDOA 측정잡음 공분산= $10^2$ )

Fig. 8 NoLS, IV, WLS based RMSE for velocity of target (TDOA measurement noise variance= $10^2$ )

그림 6, 그림 7, 그림 8은 세 가지 TDOA 측정잡음 공분산에 따른 IV, NoLS, WLS 기법 기반 속도 추정치의 평균 제곱근 오차 결과이다. 식 (10)을 이용하여 얻은 IV 기법 기반의 속도 추정치와 식 (9)를 이용하여 얻은 NoLS 기법 기반의 속도 추정치는 TDOA 측정치만을 이용하여 얻었으며, WLS 기법 기반의 속도 추정치는 TDOA 측정치 뿐만 아니라 FDOA 측정치도 같이 사용하여 얻은 결과이다. NoLS 기법 및 IV 기법으로 얻은 속도 추정치들 모두 스텝이 진행됨에 따라 추정오차가 줄어드는 것을 알 수 있으며, IV 기법으로 인하여 NoLS 기법에서 발생할 수 있는 추정오차가 줄어들었음을 확인할 수 있다. 또한 TDOA 측정치만을 이용한 IV 기법 기반의 속도 추정에서 측정치들이 어느 정도 누적되는 약 15~20스텝 정도부터는 TDOA 및 FDOA 측정치를 모두 이용한 WLS 기법 기반의 속도 추정치만큼 충분히 신뢰할 수 있음을 보여준다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 저속으로 움직이는 표적에 대하여 FDOA 측정치를 비롯한 다른 측정치는 이용하지 않고 TDOA 측정치만을 이용하여 이동 표적의 위치와 헤딩각도뿐만 아니라, 각속도 및 속도까지 추정하는 알고리즘을 제안하였다. NoLS 기법으로 이동 표적에 부착한 2개 송신기의 위치 정보를 얻고, 이를 이용하여 표적의 중심 위치와 헤딩각도를 추정하였다. 또한 이동 표적의 각속도 및 속도가 일정하다는 가정 하에, 추정된 표적의 위치 및 헤딩각도를 측정치로 이용하여 이동 표적의 각속도 및 속도 정보를 추가적으로 추정하였다. 이동 표적의 속도를 추정하는 과정에서 NoLS 기법을 사용하면, 오차 성분을 갖고 있는 성분들로 구성된 측정 행렬 때문에 이러한 불확실성에 따른 추정 오차가 발생하며 이를 보상하기 위하여 IV 기법을 적용하였다. 측정행렬끼리 또는 측정 행렬과 측정잡음간 상관성으로 인한 추정 오차를 줄이기 위해 IV 행렬을 구성하여 적용하였고, 모의 실험을 통하여 NoLS 기법 기반 추정치들의 추정 오차가 보상되는 것을 확인하였다. 특히 그림 6, 그림 7, 그림 8에서 세 가지 TDOA 측정오차에 대하여 측정 행렬의 불확실성에 따른 NoLS 기법 기반의 속도 추정치의 추정 오차를 IV 기법을 통하여 보상한 것을 확인하였으며, NoLS 기법, IV 기법, WLS 기법 기반 속도 추정치의 평균 제곱근 오차 결과를 통해 해당 알고리즘의 신뢰성을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘은 FDOA 측정치를 비롯하여 다른 측정치를 이용하기 어려운 환경에서 단일 TDOA 측정치 기반의 시스템으로써, 이동 표적의 위치 및 속도를 추정하는데 적합하며 다양한 응용 분야에 활용될 것으로 기대한다.

### 감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2013R1A1A4A01013607)

References

- [1] E. Trevisani and A. Vitaletti, "Cell-ID location technique, limits and benefits: an experimental study," IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 51-60, 2004.
- [2] I. Guvenc and C. C. Chong, "A survey on TOA based wireless localization and NLOS mitigation techniques," IEEE Commun. Surveys Tuts., vol. 11, no. 3, pp. 107 - 124, Third Quarter, 2009.
- [3] J. O. Smith and J. S. Abel, "The spherical interpolation method of source localization," IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 12, no. 1 pp. 246-252, 1987.
- [4] R. Peng and M.L. Sichitiu, "Angle of arrival localization for wireless sensor networks," Proc. IEEE Comm. Soc. Conf. Sensor and Ad Hoc Comm. and Networks (SECON), vol. 1, pp. 374-382, Sep. 2006.
- [5] Z. Yang, C. Wu, and Y. Liu, "Locating in fingerprint space: wireless indoor localization with little human intervention," in Proc. of the 18th annual international Conf. on Mobile computing and networking, pp. 269-280, 2012.
- [6] Y. T. Chan and K. C. Ho, "A simple and efficient estimator for hyperbolic location," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 42, no. 8, pp. 1905-1915, Aug. 1994.
- [7] K. C. Ho, "An accurate algebraic solution for moving source location using TDOA and FDOA measurements," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 52, no. 9, pp. 2453-2463, Sep. 2004.
- [8] M. L. Fowler and X. Hu, "Signal models for TDOA/FDOA estimation," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. 44, no. 4, pp. 1543 - 1550, Oct. 2008.
- [9] D. G. Kim, Y. H. Kim, J. W. Han, K. H. Song, and H. N. Kim, "Analysis on the Contribution of FDOA Measurement Accuracy to the Performance of Combined TDOA/FDOA Localization Systems," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 51, no. 5, pp. 990 - 998, May 2014.
- [10] K. C. Ho, X. Lu, and L. Kovavisaruch, "Source localization using TDOA and FDOA measurements in the presence of receiver location errors: Analysis and solution," IEEE Trans. Signal Process, vol. 55, no. 2, pp. 684 - 696, Feb. 2007.
- [11] H. W. Wei, R. Peng, Q. Wan, Z. X. Chen, and S. F. Ye, "Multidimensional scaling analysis for passive moving target localization with TDOA and FDOA measurements," IEEE Trans. Signal Process, vol. 58, pp. 1677 - 1688, Mar. 2010.
- [12] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fos, Probabilistic robotics, MIT Press: Cambridge, MA, USA, 2005.
- [13] K. Dogancay, "Bias compensation for the bearings-only pseudolinear target track estimator," IEEE Trans. Signal Process, vol. 54, no. 1, pp. 59-68, Jan. 2006.
- [14] Y. H. Kim, K. H. Choi, T. S. Yoon, and J. B. Park, "Target localization using instrumental variable method in sensor network," IEICE Trans. Commun., vol. E96-B, no. 5, pp. 1202-1210, May 2013.

저 자 소 개



**김 용 휘(Yong Hwi Kim)**

1987년 5월 16일생. 2010년 연세대학교 공과대학 전기전자공학과 졸업. 2010년~현재 동 대학원 전기전자공학과 석박통합과정  
Tel : +82-2-2123-2773  
E-mail : yonghwikim@yonsei.ac.kr



**박 민 수(Min Soo Park)**

1988년 10월 4일생. 2013년 창원대학교 메카트로닉스 공과대학 전기공학과 졸업. 2013년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
Tel : +82-10-5673-4143  
E-mail : mspark1@changwon.ac.kr



**박 진 배(Jin Bae Park)**

전기학회 논문지 제 62권 제 2호 참고



**윤 태 성(Tae Sung Yoon)**

전기학회 논문지 제 62권 제 2호 참고