

선형 최소자승법을 적용한 TDOA 기반의 다변측정감시시스템 성능 분석

장재원*, 김태식*, 이상정**

Performance Analysis of TDOA-based Multilateration System with Linear Least Square Method

Jae-won Chang*, Tae-sik Kim*, Sang jeong Lee**

요약

최근 드론 시장의 활성화에 따라 쿼드콥터를 포함한 다양한 무인비행체(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)의 개발이 활발히 이루어지고 있으며 택배운송, 재난대응, 그리고 레저 분야 등에 무인비행체를 활용하는 운용분야도 급속히 발전하고 있다. 이러한 무인기가 유인기 운용범위에 진입하기 위해서는 무인기도 유인기와 같은 항공감시의 적용 대상이 되어야 한다. 본 논문에서는 무인기에 대한 항공감시를 위한 다변측정감시시스템에 대하여 설명하였으며 다변측정감시시스템에 적용되는 TDOA(Time Difference of Arrival) 알고리즘에 대한 선형 최소 자승법(LLS, Linear Least Square)의 수식적 모델링을 구현하고 이에 대한 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였다.

Key Words : Multilateration, TDOA(Time Difference of Arrival), LLS(Linear Least Square), TOA(Time of Arrival)

ABSTRACT

Recently, the development of various unmanned aerial vehicles including quad-rotor has been actively pursued with the activation of the drone market, and the field of operation utilizing unmanned aerial vehicles such as parcel service, disaster response, and leisure field is also rapidly developing. In order for such unmanned aerial vehicles to enter the manned aircraft operating range, UAV must also be subject to air surveillance such as manned aircraft. In this paper, the Multilateration system for aeronautical surveillance of UAV is described. We have implemented the modeling of the linear least squares method for the Time Difference of Arrival (TDOA) algorithm applied to the Multilateration system and analyzed the performance through simulation.

1. 서론

쿼드콥터를 포함하는 드론은 자율주행 등의 많은 연구분야에서 활용되고 있으며 최근에는 택배운송, 재난대응, 그리고 레저 분야 등의 실생활 분야에도 많이

활용되고 있다. 국내에서는 국립재난안전연구원에서 다수의 멀티콥터/고정익 소형 무인기를 활용하여 현장 지원기술 개발을 위한 운용체계를 구축하고 있으며 국민안전처, 한전, 경찰청에서 무인기를 활용한 공공 분야 활용가능성과 수용창출을 위한 시범사업이 근래

※ 본 연구는 국토교통부의 항공안전기술개발사업 “다변측정감시시스템 개발”과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

♦ First Author : Korea Aerospace Research Institute, zdream@kari.re.kr, 정희원

* Korea Aerospace Research Institute, tskim@kari.re.kr, 정희원

** Korea Aerospace Research Institute, sjlee@cnu.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2017-10-304, Received Octoberber 12, 2017; Revised January 8, 2018; Accepted January 15, 2018

에 진행되었다. 미 NASA에서는 ‘14년도부터 ’19년까지 저고도공역에서의 안전운항을 위한 기술 개발을 목적으로 연간 200억 규모의 UTM(UAS Traffic Management) 프로젝트를 진행 중에 있다¹⁾.

이와 같이 드론의 개발 및 운용에 대한 활발한 연구가 진행되면서 무인기의 운용범위가 유인기 운용범위까지 확장되어야 한다는 필요성이 제기되고 있다. 무인기가 유인기 운용범위에 진입하기 위해서는 현재 유인기에 요구되는 장치 및 규정을 만족하여야 한다. 특히, 안전에 민감한 유인 항공기와 무인기를 동시에 운용하기 위해서는 많은 연구를 통한 안전성에 대한 검증이 선행되어야 한다.

본 논문에서는 유인기 시스템에 적용되고 있는 기술인 CNS-ATM(Communication, Navigation, Surveillance, Air Traffic Management)중 항공감시분야에 대하여 설명하고 항공감시시스템 중 TDOA 알고리즘을 통해 타겟의 위치를 추정하는 다변측정감시시스템(Multilateration)의 성능을 분석하였다. 2장에서는 다변측정감시시스템의 구조에 대하여 설명하였으며 3장에서는 다변측정감시시스템의 TDOA 알고리즘을 위한 수학적 모델링을 구현하였다. 제 4장에서는 Matlab 시뮬레이션을 통해 구현된 모델링을 이용한 다변측정감시시스템의 위치 추정 성능을 검증하였다.

II. 다변측정감시시스템

2.1 지상감시시스템

유인항공기 운용 측면에서의 항공감시는 안전하고 효율적인 항공기 운용을 위해 항공기뿐만 아니라, 지상 이동체, 기상, 공역상태정보, 지형 및 방해물 정보를 탐지, 추적, 식별 및 관측하는 것을 의미한다²⁾.

항공감시 분야 중 지상감시시스템은 항공기와 지상 국간 상호 협력 여부에 따라 구분할 수 있다. 그림 1은 지상감시시스템에 대한 분류이다³⁾.

그림 1의 일차감시레이더는 타 장치에 대한 의존 없이 독립적으로 타겟의 위치를 측정한다. 즉, 레이더에서 송출되는 신호가 타겟에 반사되어 시스템에 수신되는 시간을 이용하여 타겟의 위치를 측정한다. 일차감시레이더의 경우 비협력시스템이며 독립적이라는 장점은 있지만, 타겟의 위치를 측정하는 방식에 따라 측정 위치 오차가 큰 단점이 있다.

이차감시레이더의 경우 이차감시레이더의 질문기(Interrogator)에서 송출되는 질문 메시지를 항공기에 탑재된 트랜스폰더에서 수신하고 응답하는 메시지를 이차감시레이더에서 수신할 때까지의 시간을 이용하

	Independent	Dependent
Non-Cooperative	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0e0ff;"> PSR(Primary Surveillance Radar) SMR(Surface Movement Radar) </div>	
Cooperative	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0ffe0;"> SSR(Secundary Surveillance Radar) </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0ffe0;"> MLAT (Multilateration) </div>
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0ffe0;"> ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) </div>

그림 1. 지상감시시스템 분류
Fig. 1. Category of Ground Surveillance System

여 타겟의 위치를 측정한다. 이차감시레이더의 타겟 측정 위치 정확도는 일차감시레이더에 비해 높지만 여전히 측정 위치 오차가 크다는 단점이 있다. 이러한 이차감시레이더(SSR, Secondary Surveillance Radar)에서 제공되는 타겟에 대한 위치 정보의 해상도를 높이기 위해 다변측정감시시스템(MLAT, Multilateration)이 항공 감시시스템에 적용되고 있다. 다변측정감시시스템은 쌍곡선(Hyperbola) 또는 쌍곡면(Hyperboloid) 위치 측정법을 이용하여 타겟의 위치를 계산하는 시스템이다⁴⁾. ADS-B의 경우 위치 정보의 해상도는 높으나 항공기의 위치 정보를 GPS 위치 정보를 이용하여 제공하기 때문에 GPS의 무결성(Integrity)과 밀접한 연관이 있어 GNSS 안전성문제에 취약한 단점이 있다.

2.2 다변측정감시시스템

다변측정감시시스템은 지상에 정밀하게 측위 되어진 위치에 배치된 다수의 수신기에서 항공기에 탑재된 트랜스폰더 및 지상이동차량에 탑재된 1090ES 송출장치로부터 송출되는 신호를 획득하여 항공기 및 지상이동차량의 위치를 측정하는 항공감시시스템이다. 공항 내에서 이동하는 지상이동차량에 장착하는 1090ES 송출장치는 항공기에 탑재되는 트랜스폰더와 같은 1090MHz의 주파수를 사용하며 지상에 위치할 질문기로부터 별도의 질문이 없는 경우에도 주기적으로 신호를 송출하는 장치로서 다변측정감시시스템을 이용하여 위치를 측정할 수 있도록 한다. 항공기 및 지상 이동체의 위치를 탐지하기 위한 다변측정감시시스템의 구성은 그림 2와 같다⁴⁾.

그림 2에서 알 수 있듯이 다변측정감시시스템은 일반적으로 다수의 수신기(RU; receiving unit), 중앙처리장치(CPS; central processing system), 기준감시트랜스폰더(RMT; reference and monitoring transponder), 통제감시장치(CMS; control and monitoring system), 외부연동장치(EIU; external

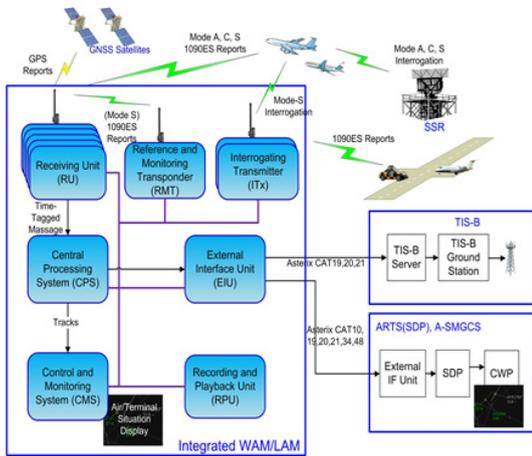


그림 2. 다변측정감시시스템 구성
Fig. 2. Multi-Interrogation system configuration

interface unit), 그리고 질문기(ITX; interrogating Transmitter)로 구성된다. 이 중 수신기는 항공기에 탑재된 트랜스폰더 신호를 수신하고 지역시간(local time)을 기준으로 신호의 도착시각(TOA, Time of Arrival)을 측정하고 이 정보를 중앙처리장치로 전송한다. 중앙처리장치는 다수의 수신기로부터 전송된 TOA값을 TDOA 알고리즘을 이용하여 표적의 위치를 계산하고 식별 추적한다. 기준감시트랜스폰더는 신호를 송출하여 각 수신기들의 시각동기를 위해 활용된다. 중앙처리장치에서는 기준감시트랜스폰더의 위치와 수신기들의 실제 위치를 알고 있으므로 수신기들에서 측정된 기준감시트랜스폰더의 Time-Tagging에 대한 정보와의 차이를 계산하여 시각차 오차를 보정하여 시각동기를 맞춘다. 외부연동장치는 외부 사용자에게 자료를 전송하는 역할을 한다. 질문기는 항공기에 탑재된 트랜스폰더의 응답을 유도하기 위한 질문을 송출한다. 공항의 항공감시 시스템 구성에 따라 별도의 질문기가 있는 경우 다변측정감시시스템의 질문기는 사용하지 않을 수 있다. 이러한 다변측정감시시스템을 Passive MLAT이라고 한다.

III. TDOA 알고리즘

3.1 TDOA를 이용한 거리 차 모델 구현

GPS가 L개의 위성으로부터 L개의 TOA를 측정하여 수신기의 위치를 계산하는 것과 유사하게 다변측정감시시스템은 항공기(타겟)에 탑재된 트랜스폰더에서 송출되는 신호를 정밀하게 측위 된 지상에 설치된 L개의 수신기로 수신하여 L-1개의 TDOA를 구하여

위치 를 계산한다. 그림 3은 TDOA기반의 위치추정방식을 나타낸다.

GPS의 경우 위성에서 신호를 송출하는 시각을 알기 때문에 수신기에서 수신한 시각을 측정하여 TOA를 구할 수 있지만, 다변측정감시시스템의 경우 항공기의 트랜스폰더에서 송출하는 시각을 알지 못하기 때문에 TDOA 알고리즘을 이용하여 식(1)과 같이 트랜스폰더 송출시각 정보를 TDOA식에서 제거한다.

$$t_{1,2} = (t_1 - t_{tr}) - (t_2 - t_{tr}) = t_1 - t_2 \quad (1)$$

$t_{1,2}$: 수신기 1과 2의 트랜스폰더 신호 입력 시각차(TDOA)
 t_1, t_2 : 수신기 1과 2에서의 트랜스폰더 신호 입력 시각
 t_{tr} : 트랜스폰더 신호 출력 시각

그림 4는 TDOA 모델을 설명하기 위해 타겟과 수신기를 직선상에 가상으로 배치하여 TDOA에 의해 발생하는 거리 차 계산에 대한 설명이다.

그림 4에서 타겟은 탑재된 트랜스폰더의 신호를 송출하고 두 수신기에서는 각각 신호가 입력되는 시각을 측정한다. 이 때 두 수신기는 시각 동기가 이루어져 있어야 하며 이는 그림 2의 기준감시트랜스폰더를 이용하여 중앙처리장치에서 수행한다. 측정된 두 수신기의 입력시각의 차는 중앙처리장치에 의해 계산되고 여기에 전파의 전달 속도($c \approx 3 \times 10^8$ m/s)를 곱하여 TDOA에 의해 발생하는 거리차를 계산한다.

TDOA를 이용하여 타겟의 위치를 구하기 위해서는 다수의 수신기중에서 기준 수신기를 설정하여야 한다. 첫 번째 수신기를 기준 수신기로 설정할 경우 식(2)와 같이 L-1개의 TDOA를 구할 수 있다.

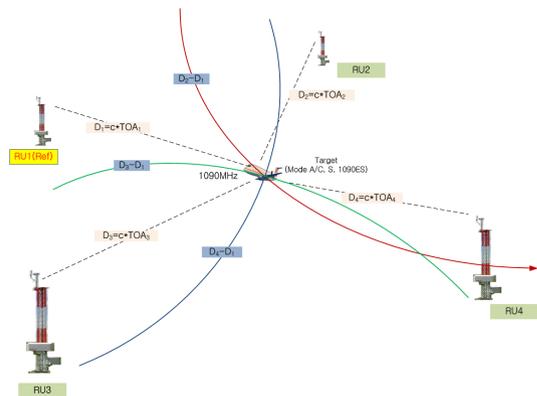


그림 3. TDOA 기반의 위치 추정방식
Fig. 3. Position estimation method using TDOA

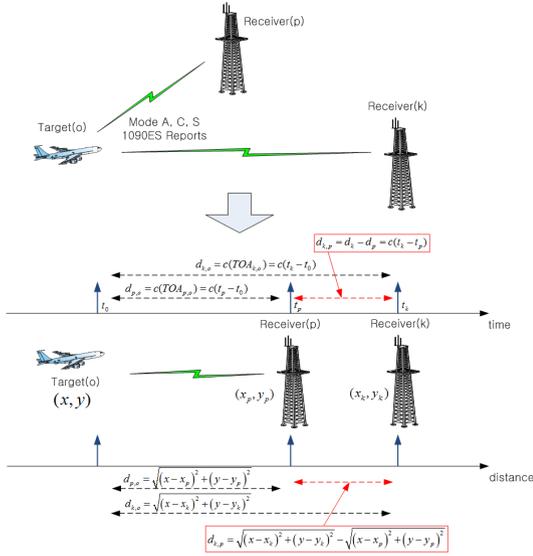


그림 4. TDOA를 이용한 거리차 계산
Fig. 4. Calculate distance difference using TDOA

$$t_{l,1} = t_l - t_1, \quad l = 2, 3, \dots, L \quad (2)$$

$$d_{l,1} = c(t_l - t_1)$$

식 (2)는 수신기가 트랜스폰더 신호의 입력시각을 측정할 때 오차 성분이 없다고 가정한 경우에 대한 식이다. 하지만, 실제 수신기에서 신호 입력 시각을 측정할 때에는 수신 신호의 신호 대 잡음비에 의해 발생하는 오차, 수신기의 양자화에 따른 오차 및 수신기간의 시각 동기 오차에 의한 오차로 인해 식 (3)과 같은 수신 신호 시각 오차가 발생한다.

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma_{SNR}^2 + \sigma_q^2 + \frac{\sigma_{clk}^2}{2}} \quad (3)$$

식 (3)에서 σ_r 는 수신기의 수신 신호 시각 오차이며 σ_{SNR} 은 수신신호의 신호 대 잡음비에 의해 발생하는 오차이고 σ_{clk} 은 수신기간의 시각동기 오차를 나타낸다.

그림 5는 이러한 오차가 반영되었을 때의 타겟과 각 수신기간의 거리와 TDOA를 반영한 거리차에 대한 설명이다.

그림 5의 A는 TOA 측정값에 노이즈 성분이 없다는 가정 하에서 TDOA를 이용한 거리차에 대한 설명이다. 그림 4의 A와 같이 노이즈가 존재하지 않는다는 가정 하에서 타겟과 두 수신기간의 거리에 대한 차

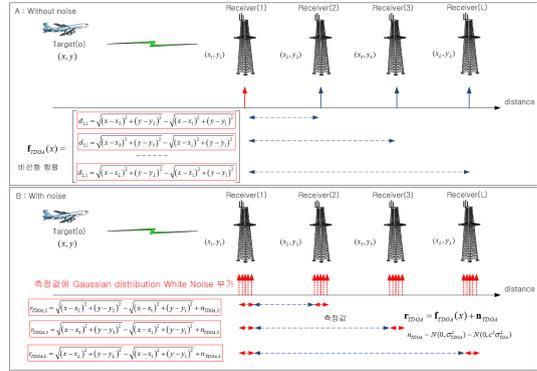


그림 5. TDOA를 이용한 거리 차 측정(A:w/o noise, B: With noise)
Fig. 5. Measurement of distance difference using TODA(A:w/o noise, B: With noise)

는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{f}_{TDOA}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} \\ \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} \\ \vdots \\ \sqrt{(x-x_L)^2 + (y-y_L)^2 + (z-z_L)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{f}_{TDOA}(\mathbf{x}) \in R^{L-1}$$

식 (4)에서 (x, y, z) 는 타겟의 위치이며 $f(x)$ 의 x 와 동일하다. 그리고 (x_l, y_l, z_l) 은 1번부터 L번까지의 수신기 위치이다.

그림 5의 B는 TOA 측정값에 σ_r (수신 신호 시각 오차)가 있을 경우에 대한 TDOA를 이용한 거리 차 측정값에 대한 설명이다. 노이즈 성분이 존재할 경우에 대한 TDOA를 이용한 거리차에 대한 식은 식 (5)와 같다. 식 (5)를 간략하게 TDOA 측정방정식이라 한다.

$$\mathbf{r}_{TDOA}(\mathbf{x}) = \mathbf{f}_{TDOA}(\mathbf{x}) + \mathbf{n}_{TDOA} \in R^{L-1} \quad (5)$$

식 (5)의 TDOA 측정방정식에서 $\mathbf{r}_{TDOA}(\mathbf{x})$ 는 노이즈 \mathbf{n}_{TDOA} 를 적용한 TDOA를 적용한 거리차에 대한 측정값이며 이는 L개의 지상 수신기에 대해서 L-1개의 벡터 형식의 모델로 나타낼 수 있다.

3.2 LLS를 적용한 타겟 위치 추정

위 절에서 유도한 TDOA 측정 방정식은 TOA 방식과 유사하게 지상에 배치되는 수신기의 개수에 따라 비선형 방정식으로 정의된다. 따라서 항공기 위치

추정값 $\hat{X}_{TDOA} = [\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}]^T \in R^3$ 을 구하기 위해서는 추정 알고리즘이 적용되어야 한다. 본 논문에서는 선형 추정기법으로 사용되는 선형 최소 자승 추정법 (LLS, Linear Least Square Estimation)을 적용하였다. LLS는 위치해의 정확도가 낮은 단점이 있지만, 차분 방정식을 이용한 선형화 계산법 QCLS(Quadratic Correction Least Square)보다 정확도가 높고 비선형 추정알고리즘인 NLS(Nonlinear Least Square)보다 계산 알고리즘이 간단하고 구현에 효율성이 있는 추정방법이다.

TDOA 알고리즘의 경우는 식(6)과 같이 단순히 LLS를 적용하여 직선의 방정식을 구하는 경우와 달리 LLS를 통해 추정값을 계산한 후 추가적인 계산이 필요하다.

$$\arg \min_{a,b} \sum_{i=1}^n r_i^2 = \arg \min_{a,b} \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2$$

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \cdot & \cdot \\ x_n & 1 \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$X = (A^T A)^{-1} A^T B$$

식 (6)에서 a 는 직선의 기울기이며 b 는 y 절편 값이다. LLS를 적용하기 위해서는 식 (6)과 같이 구하고자 하는 파라미터를 X 로 설정하고 이에 따른 A, B 매트릭스를 구한 후 Pseudo Inverse를 취하여 계산하여야 한다.

TDOA 알고리즘의 경우는 타겟의 위치를 직접 X 로 설정할 수 없어 X 를 식(7)과 같이 설정하였다.

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x - x_1 \\ y - y_1 \\ z - z_1 \\ R_1 \end{bmatrix} \in R^4 \quad (7)$$

식 (7)에서 (x, y, z) 는 타겟의 위치이며 (x_1, y_1, z_1) 는 기준수신기의 위치이다. R_1 은 타겟과 기준수신기간의 거리($R_1 = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2}$)이다. 식 (7)을 이용하여 TDOA 알고리즘 적용하여 타겟의 위치를 추정하기 위한 방정식을 정리하면 식 (8)과 같다.

$$2(x_1 - x_i)(x - x_i) + 2(y_1 - y_i)(y - y_i) + 2(z_1 - z_i)(z - z_i) - 2r_{TDOA,i}R_1 + m_{TDOA,i} = r_{TDOA,i}^2 - (x_1 - x_i)^2 - (y_1 - y_i)^2 - (z_1 - z_i)^2 \quad (8)$$

where

$$m_{TDOA,i} = 2 \times n_{TDOA,i} \times \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} + n_{TDOA,i}^2$$

식 (8)을 이용한 행렬식은 식 (9)와 같다.

$$\mathbf{A} = 2 \begin{bmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 & z_1 - z_2 & -r_{TDOA,2} \\ x_1 - x_3 & y_1 - y_3 & z_1 - z_3 & -r_{TDOA,3} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_1 - x_L & y_1 - y_L & z_1 - z_L & -r_{TDOA,L} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x - x_1 \\ y - y_1 \\ z - z_1 \\ R_1 \end{bmatrix}, \mathbf{q} = \begin{bmatrix} m_{TDOA,2} \\ m_{TDOA,3} \\ \cdot \\ m_{TDOA,L} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} r_{TDOA,2}^2 - (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 \\ r_{TDOA,3}^2 - (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 \\ \cdot \\ r_{TDOA,L}^2 - (x_1 - x_L)^2 - (y_1 - y_L)^2 - (z_1 - z_L)^2 \end{bmatrix}$$

식 (9)에서 LLS를 이용하여 추정치 X 를 구한 후 기준수신기의 위치를 차감하여야만 타겟의 위치를 구할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과 분석

위의 III장에서 모델링한 TDOA 알고리즘에 대한 위치 추정 성능을 검증하기 위하여 Matlab을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션을 위해 SNR을 25dB, 수신기간 시각동기 오차를 3ns, 그리고 양자화 시간을 10ns로 가정하여 기준 수신신호시각오차를 4.5366ns로 하였다. 이 기준 수신신호시각오차에 0~1 사이의 랜덤 값을 곱하여 각 수신기별 수신신호시각오차를 서로 다르게 생성하였다. 시뮬레이션에서는 수신기와 실제 타겟의 위치를 그림 6과 같이 배치하였다. 시뮬레이션에서는 2차원에 대한 결과만을 도출하여 분석하였다.

그림 7은 그림 6의 시뮬레이션 환경을 이용하여 타겟의 위치에 대한 추정 오차를 나타낸다.

그림 7에 대한 RMSE값은 X축에 대해 1.08m, Y축에 대해 1.14m의 위치 정확도를 가짐을 확인하였다.

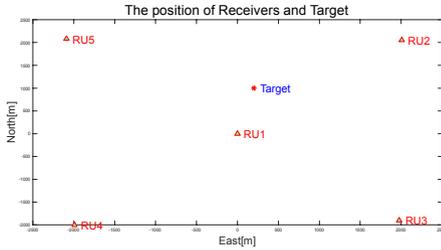


그림 6. 수신기와 타겟의 위치
Fig. 6. The position of receivers and target

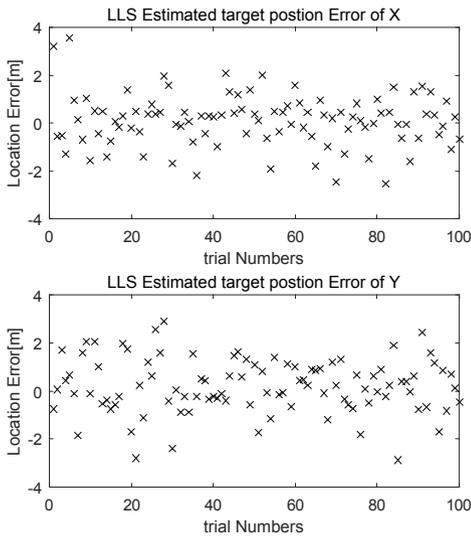


그림 7. 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulation Result

V. 결 론

본 논문에서는 향후 무인기가 유인기 운용범위에 진입할 경우에 유인기의 트랜스폰더의 신호를 출력할 수 있는 탑재장비를 장착한 무인기의 지상감시를 위해 필요한 다변측정감시시스템에 대하여 기본 원리와 구성을 설명하였다. 또한 다변측정감시시스템에서 사용하고 있는 TDOA 알고리즘의 비선형 방정식을 해결하기 위한 LLS 방식을 적용하기 위한 모델링에 대하여 설명하였다. 또한, 모델링 된 TDOA 알고리즘의 행렬식을 LLS에 적용한 결과를 Matlab 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 차후에는 실제로 다변측정감시시스템이 적용될 환경에서 트랜스폰더가 장착된 항공기를 통해 LLS를 적용한 TDOA 알고리즘의 성능을 분석할 예정이다.

References

- [1] Electronics and Telecommunications Research Institute, *Low-altitude traffic management system design and demonstration planning report for safe operation of UAV*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, pp. 4-5, 2016.
- [2] H. S. Kim, S. Y. Park, and J. Y. Kang “A study on the improvement of airborne surveillance using multivariate method,” in *Proc. KASA Fall Conf. 2010*, Jeju Island, Korea, Nov. 2010.
- [3] J. W. Chang and S. J. Lee, “Pulse position determination using adaptive threshold detector,” *J. Advanced Navig. Technol.*, vol. 21, no. 2, pp. 163-170, Apr. 2017.
- [4] T. S. Kim and J. W. Chang, “Technology trends on the multilateration of aeronautical surveillance, current industrial and technologic trends in aerospace,” *Current Ind. Technologic Trends in Aerospace*, vol. 11, no. 2, pp. 52-64, 2013.

장 재 원 (Jae-won Chang)



2003년 2월 : 충남대학교 전자공학과 석사
2003년 4월~현재 : 한국항공우주연구원 항공전자팀 선임연구원
<관심분야> 항공 전자, 항행 시스템

김 태 식 (Tae-sik Kim)



1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
1991년 2월~2001년 2월: 국방과학연구소 선임연구원
2001년 3월~현재 : 한국항공우주연구원 항공전자연구팀 책임연구원
<관심분야> 항공전자, 항공감시시스템, 항공통신

이 상 정 (Sang Jeong Lee)



1981년 2월 : 서울대학교 전자
공학과 석사

1987년 2월 : 서울대학교 전자
공학과 박사

1988년 3월~현재 : 충남대학교
전자공학과 교수

<관심분야> 강인제어, GNSS