

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.4.97>

IIBC 2018-4-14

## 드론을 이용한 효율적인 TDOA 방향탐지 기법 연구

### A Study on the Technique of Efficient TDOA Technique Direction Finding Using Drones

최홍락\*, 하태영\*, 김용원\*\*, 김경석\*\*\*

Hong-Rak Choi\*, Tae-Yeong Hah\*, Young Won Kim\*\*, Kyung-Seok Kim\*\*\*

**요약** 기존의 방향탐지는 지상에서 높은 위치에 안테나를 설치하여 신호 수신환경을 최대한 LOS(Line of Sight)의 환경으로 목표물의 위치를 탐지하지만 이러한 환경을 구성하기 위해선 높은 비용과 설치 시간이 필요하다. 군사적 용도로 사용되었던 무인항공기인 드론이 민간·상업용으로 시장이 확대되면서 활용 영역이 넓어지고 있기 때문에 본 논문에서는 방향탐지에서 드론을 활용하고자 TDOA(Time Difference of Arrival)기법을 활용하여 4대의 드론을 이용해 방향탐지 시뮬레이션을 구성하였다. 또한 추가적인 신호처리 테일러 급수와 Exact Interactive Algorithm을 이용하여 드론과 TDOA 방향탐지 기법 기반의 시뮬레이션을 구성하였다. 시뮬레이션은 지상 방향탐지의 측정 데이터의 GPS정보를 이용하여 800MHz Path-Loss Model을 활용하여 수신 Power를 정의하였으며 TDOA기법과 테일러급수, Exact Interactive Alogrithm을 적용하여 보정을 실시하였을 때 위치추정 성능을 분석하였다.

**Abstract** In the conventional direction finding, the antenna is installed at a high position on the ground to detect the position of the target with the environment of the LOS(Line of Sight) as much as the signal receiving environment. However, in order to configure such environment, high cost and installation time were required. In this paper, we use TDOA(Time Difference of Arrival) technique to utilize drones in direction finding, so that four drones can be used for directions finding simulation. Simulations based on drone and TDOA direction finding were constructed using additional signal processing Taylor series and Exact Interactive Algorithm. In the simulation, the receiving power is defined by using the 800MHz path-loss model using the GPS information of the ground direction detection, and the position estimation performance is analyzed when the TDOA technique, the Taylor series, and the Exact Interactive Alogrithm are applied.

**Key Words** : Drone, TDOA, Taylor Seires, Exact Interactive Algorithm, Direction Finding

## 1. 서론

기존의 방향탐지는 높은 높이의 안테나를 지상에 설치하거나 높은 위치에 안테나를 설치하여 신호의 수신

환경을 LOS(Line of Sight)로 환경을 구성하여 목표물의 위치를 보다 정확히 탐지하기 위해왔다. 이러한 환경을 구성하기 위해선 높은 비용의 안테나 제작 및 설치 비용이 필요하며 이동이 어렵다는 단점이 있다. 그러나 현대

\*준회원, 충북대학교 전파통신공학과

\*\*준회원, 충청지역사업평가원 (교신저자)

\*\*\*정회원, 충북대학교 정보통신공학과

접수일자 2018년 5월 28일, 수정완료 2018년 7월 3일

게재확정일자 2018년 8월 10일

Received: 28 May, 2018 / Revised: 3 July, 2018 /

Accepted: 10 August, 2018

\*\*Corresponding Author: capable\_kyw@naver.com

Department of Electrical and Electronic Engineering, Chungbuk National University, Korea

의 방향탐지에서는 장비의 소형화, 저비용을 요구하면서 방향탐지를 통해 보다 정확한 목표물의 위치 탐지를 요구한다<sup>[1]</sup>. 따라서 본 논문에서는 드론을 활용하여 신호를 측정하고 TDOA(Time Difference of Arrival) 알고리즘을 이용하여 목표물의 위치를 추정하고자 한다. 군사적 용도로 사용되었던 드론이 민간용, 상업용으로 시장이 확대 되면서 농업, 배송, 물류, 통신 등 다양한 용도 및 분야에서 점차 활용영역을 넓혀가고 있다. 기존 TDOA 알고리즘은 GPS(Global Positioning System)에서 사용하는 기법으로 다수의 위성에서 측정되는 측정신호의 도달 시간차이를 이용하여 위치를 추정하는 방법이다. TDOA를 이용한 방향탐지는 수신장비들의 측정 신호의 시간 동기만을 요구하는 장점 때문에 많은 분야에서 사용되어 온 방향탐지 알고리즘이다<sup>[2,8]</sup>. 본 연구에서는 소형화, 저비용의 방향탐지를 위해 드론을 활용하여 신호의 수신환경을 LOS환경으로 구성하고 TDOA 알고리즘과 추가적인 보정 알고리즘을 통해 보다 정확한 목표물의 위치를 추정하고자 한다.

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 TDOA 알고리즘을 활용하여 전파를 발생하는 물체의 위치 추정 방법에 대해 설명하고 III장에서는 시뮬레이션 환경을 구성 후 시뮬레이션을 통해 결과를 도출하였으며 IV장에서는 결론을 맺는다.

## II. TDOA 기법을 활용한 효율적인 위치 추정

본 연구에서는 드론을 활용하여 TDOA 기법을 통해 목표물의 위치를 탐지하고자 한다. 드론은 전원 공급량이 제한적이며 적재 가능한 무게가 낮기 때문에 무거우며 높은 전원공급량이 필요한 고성능의 장비는 사용할 수 없기 때문에 휴대성이 용이하며 수신 Power만을 측정할 수 있는 성능의 장비를 이용하여 수신 Power와 드론에 탑재된 GPS 위치정보 데이터를 측정하고 TDOA 기법을 적용하여 목표물의 위치를 추정하였다. 그림 1은 정확한 목표물의 위치를 추정하기 위해 TDOA 기법과 위치를 보정하기 위한 추가적인 신호처리의 흐름도를 나타낸다.

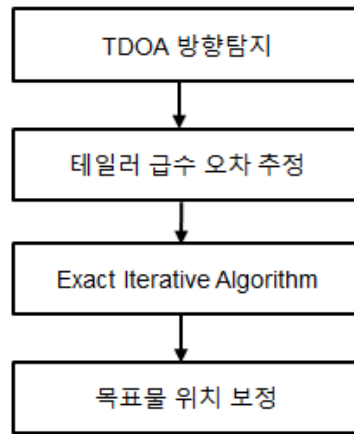


그림 1. 목표물 위치 추정 흐름도  
Fig. 1. Target position estimation flowchart

### 1. TDOA 방향탐지

TDOA 방향탐지 기법은 TOA(Time of Arrival)방식을 이용해 송신점에서 발생한 전파를 수신점에서 Power 값 측정 후 전파 손실 특성을 이용하여 송신점과 수신점 사이의 거리 도출 후 전파가 도달한 시간을 계산하여 서로 다른 수신점들 사이의 측정된 시간 차이를 이용한다<sup>[3]</sup>. 각 수신점에 도착하는 전파의 시간의 차이를 계산하기 위해선 전파의 각 수신점사이의 시간을 송신점 사이의 시간 동기가 완벽하게 일치해야 TDOA 기법을 통해 정확한 위치를 추정할 수 있다. 시간 동기가 일치된 경우 TDOA를 통해 두 점사이의 일정한 거리의 차를 그리는 쌍곡선을 확인할 수 있다. 쌍곡선을 확인하는 방법은 다음 식을 통해 확인할 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 = r_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 = (r_1 + (t_2 - t_1))^2 \\ \dots \\ (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2 = (r_1 + (t_i - t_1))^2 \end{cases} \quad (1)$$

$x_i, y_i, z_i$ 는 시간에 따른 위치  $i$ 에서 수신점의 위치를 나타내며,  $r_1$ 은 기준점이 되는 수신점과 송신점의 거리를 나타내며  $t_i$ 는 송신점에서 발생한 전파가 수신점까지 도달하는 시간이다. 위의 식을 활용하여 각 수신점 사이의 쌍곡선을 나타낼 수 있다. 그림 2는 두 점 사이의 거리의 차이가 일정한 쌍곡선을 나타냈다.

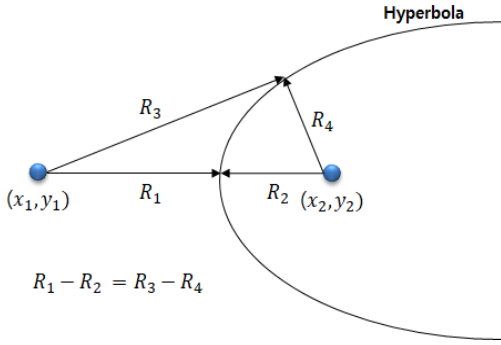


그림 2. 두 점 사이의 쌍곡선  
 Fig. 2. Hyperbola between two points

두 점 사이의 거리 차이가 일정한 쌍곡선을 각 수신점에서 나타내어 모든 쌍곡선의 해를 구할 경우 목표물의 위치를 추정할 수 있다. 그림 3은 TDOA 기법을 이용하여 다수의 쌍곡선을 표현하여 목표물의 위치를 추정하는 방법을 나타냈다.

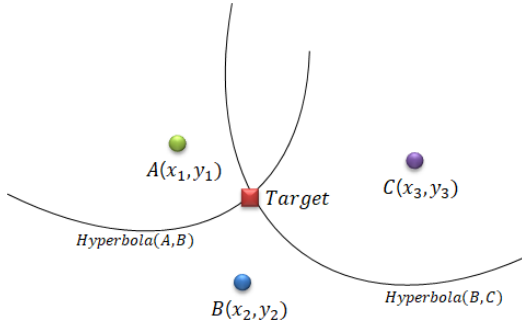


그림 3. 쌍곡선을 이용한 목표물의 위치 추정  
 Fig. 3. Target position estimation using hyperbola

## 2. 테일러 급수(Taylor Series) 오차 추정

TDOA 방향탐지 기법을 통해 송신점과 수신점들간의 거리를 추정하지만 방향탐지시 반사되어 온 수신신호는 목표물 뿐만 아니라 지표, 주변 환경 등의 영향으로 반사되어 오는 신호 또한 수신되어 오차값을 발생하게 되어 정확한 목표물의 위치 추정이 어렵다. 오차를 보정하기 위해 반복적인 테일러 급수를 이용하여 발생하는 오차값을 연산하여 수렴하는 오차값을 추정할 수 있으며 추정된 오차를 이용하여 수신기의 위치를 보정하면서 TDOA를 재수행하여 보다 정확한 목표물의 위치를 추정가능하다<sup>[4]</sup>. 테일러 급수를 통해 오차의 값을 추정하는 방법은 다음 식을 통해 확인할 수 있다.

$$f(x, y, z) = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} = m_{i,1} + e_{i,1} \quad (2)$$

$m_{i,1}$ 은  $i$ 의 위치에서 TDOA를 통해 도출된 송신점과 드론 사이의 거리를 나타내며  $e_i$ 는  $i$ 의 위치에서 발생하는 오차를 나타낸다. 식 (2)를 이용해 테일러 급수를 전개할 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{v,T} = \frac{\partial f_v}{\partial x} \delta x + \frac{\partial f_v}{\partial y} \delta y + \frac{\partial f_v}{\partial z} \delta z \quad (3)$$

식 (3)에 대해서 좌표  $x, y, z$ 에 대한 값에 대해  $v$ 의 위치까지 편미분을 하여 테일러 급수를 전개할 경우 편미분에 대한 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} h_{(i,1)x} &= \frac{\partial f_i}{\partial x} = \frac{x_1 - x_v}{r_1} - \frac{x_i - x_v}{r_{i+1}} \\ h_{(i,1)y} &= \frac{\partial f_i}{\partial y} = \frac{y_1 - y_v}{r_1} - \frac{y_i - y_v}{r_{i+1}} \\ h_{(i,1)z} &= \frac{\partial f_i}{\partial z} = \frac{z_1 - z_v}{r_1} - \frac{z_i - z_v}{r_{i+1}} \end{aligned} \quad (4)$$

각 편미분에 대한 값은 다음의 식으로 TDOA로 연관하여 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} &\begin{bmatrix} h_{(i-2,1)x} & h_{(i-2,1)y} & h_{(i-2,1)z} \\ h_{(i-1,1)x} & h_{(i-1,1)y} & h_{(i-1,1)z} \\ h_{(i,1)x} & h_{(i,1)y} & h_{(i,1)z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} m_{i-2,1} \\ m_{i-1,1} \\ m_{i,1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} e_{i-2} \\ e_{i-1} \\ e_i \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

편미분을 통해 도출된 값과 TDOA를 통해 도출된 결과값을 이용해 오차값에 대한 수렴하는 값을 찾을 수 있다. 테일러 급수의 편미분의 값과 TDOA값을 이용해 오차의 값을 추정할 수 있으며 추정된 오차를 이용해 수신점의 위치를 보정 후 TDOA 기법을 이용해 재연산할 경우 보다 정확한 목표물의 위치를 추정할 수 있다.

## 3. Exact Iterative Algorithm

Exact Iterative Algorithm은 GPS에서 실제 위치정보

와 근사한 위치정보를 확인하기 위해 위치정보를 보정하는 알고리즘이다<sup>[6]</sup>. Exact Iterative Algorithm은 인공위성의 속도벡터(Velocity Vecctor)를 고려하여 목표물의 대한 위치를 보정하지만 본 논문에서는 드론에서 인공위성에게 수신한 GPS정보를 이용하여 목표물의 위치를 추정하게 된다. 드론의 경우 비행을 하면서 목표물의 위치를 추정하기 때문에 드론 또한 수신한 GPS의 값에서 드론이 비행하는 속도에 대한 속도벡터를 고려하여 GPS값을 보정하게 된다. Exact Iterative Algorithm을 통해 드론의 GPS값을 통해 GPS를 보정하는 방법은 다음 식을 통해 확인할 수 있다.

$$r_i = \sqrt{(x_i - x^e)^2 + (y_i - y^e)^2 + (z_i - z^e)^2} + \varepsilon^R \quad (6)$$

$x_i, y_i, z_i$ 는 수신기의 위치를 나타내며  $x^e, y^e, z^e$ 는 인공위성의 위치를 나타내며  $\varepsilon^R$ 은 수신기와 인공위성사이에서 발생하는 GPS 오차이다. 또한 속도벡터에 대한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_i(\vec{X}) = r_i - \hat{\rho}_i \quad (7)$$

$\vec{X}$ 는 인공위성의  $x^e, y^e, z^e$  위치에 대한 속도벡터를 나타냈으며  $\hat{\rho}$ 는 실제 위치에 대한 정보를 나타낸다. 다음과 같은 GPS 정보의 특성과 테일러 급수를 이용해 속도벡터에 대한 수렴치를 계산하여 속도벡터에 대한 수렴값을 연산할 수 있다. 다음 식은 테일러 급수를 이용한 속도벡터에 대한 수렴치를 연산하는 식을 나타냈다.

$$f_i(\vec{X}_{k+1}) \approx f_i(\vec{X}_k) + \sum_{j=1}^4 \frac{\partial f_j}{\partial X_j}(\vec{X}_k)(\vec{X}_k - \vec{X}_{k+1}) \quad (8)$$

$\vec{X}_{k+1}$ 은 미래의 속도 벡터의 값이기 때문에 값을 예측하기 위해선 다음의 식을 이용해 속도 벡터의 값을 예측할 수가 있다.

$$\vec{X}_{k+1} = \vec{X}_k + \frac{f_i(\vec{X}_k)}{\sum_{j=1}^4 \frac{\partial f_j}{\partial X_j}(\vec{X}_k)} \quad (9)$$

다음의 예측을 통해 수립하는 속도벡터에 대한 값을 연산하여 수신기의 위치정보에서 속도벡터를 더하여 GPS 정보의 위치를 보정한다.

### III. 시뮬레이션 환경 구성 및 결과

TDOA 기법을 활용하여 효율적인 방향탐지 시뮬레이션을 위하여 차량을 이용한 지상 방향탐지의 데이터를 이용하였다. 지상 방향탐지의 데이터를 이용하여 드론이 동일한 경로의 비행을 가정할 때 드론에 대한 전파 수신 채널 환경을 재구성하여 시뮬레이션을 진행하여 성능을 분석하였다.

#### 1. 시뮬레이션 환경 구성

드론을 이용한 효율적인 TDOA 기법의 방향탐지 성능을 분석하기 위해 지상에서 측정된 방향탐지 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 구성하였다. 표 1은 시뮬레이션에서 사용한 측정데이터의 파라미터를 나타내며 그림 4는 지상 방향탐지에서 실시한 측정데이터의 이동경로를 나타낸다.

표 1. 측정데이터 파라미터

Table 1. Measurement Data Parameter

Parameter	Value
Measurement Date	2014. 06. 19
Measurement Location	세종시 첫마을
Detection Frequency	800MHz
Signal Output Strength	30dBm
Usage Data Type	Signal Power

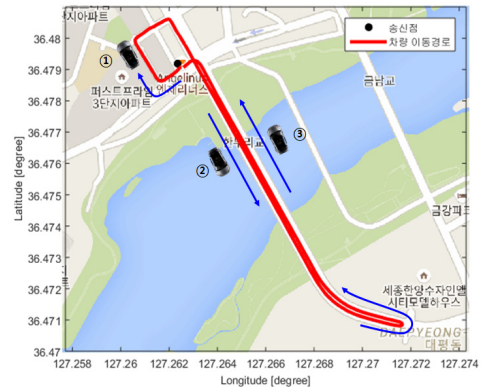


그림 4. 활용데이터의 이동 경로

Fig. 4. Movement path of utilization data

차량 방향탐지는 지상에서 실시하기 때문에 측정시 건물, 낮은 측정 높이 등의 환경으로 인해 NLOS(Non Line Of sight)의 환경으로 신호가 수신 된다. 그러나 드론을 사용할 경우 높은 고도에서 신호를 수신하여 LOS 환경에서 신호 수신이 가능하다. 측정데이터는 지상에서 실시하였으며 건물이 존재하는 환경과 존재하지 않는 환경이 혼합된 환경에서 측정되었기 때문에 측정된 신호는 NLOS와 LOS환경이 혼합되어 있다. 드론의 채널 환경은 LOS 환경을 기반으로 신호를 수신하기 때문에 동일한 주파수 대역에서의 무인항공기 채널 환경을 적용하였다<sup>[7]</sup>. 800MHz의 Path-Loss에 대한 Model은 다음 식에 나타냈다.

$$PL_{3D}(d) = \alpha 10 \log_{10}(d) + \beta + N(0, \sigma) \quad (10)$$

$\alpha$ 는 경로 손실지수이며,  $\beta$ 는 거리  $d$ 가 1m일 경우의 손실값을 나타내며  $N$ 은 평균이 0이며 분산이  $\sigma$ 인 가우시안 랜덤 변수이다. 표 2는 3차원 800MHz Path-Loss Model의 파라미터를 나타낸다.

표 2. 3차원 800MHz Path-Loss Model 파라미터  
 Table 2. Three-Dimensional 800MHz Path Loss Model Parameters

Height	Model Parameters		
	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$
15m	2.9	7.4	6.2
30m	2.5	20.4	5.2
60m	2.1	32.8	4.4

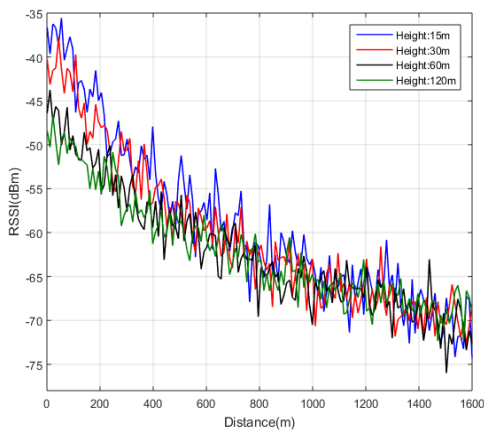


그림 5. 거리에 따른 수신 Power 정의  
 Fig. 5. Define receive power according to distance

식 (10)의 Model을 통해 드론의 수신 Power가 생성되며 그림 5는 고도에 따른 드론의 거리에 따라 생성되는 수신 신호의 Power 세기를 나타냈다.

## 2. 시뮬레이션 결과

드론을 이용한 방향탐지는 4대의 드론을 이용하여 TDOA의 기법의 시뮬레이션을 구성하였다. 4대의 드론 비행 경로는 차량 방향탐지의 동일하게 분할하여 각 드론에 대한 비행 경로를 반영하였다. 그림 6은 각 드론 별 비행 경로를 나타냈으며 그림 7은 각 드론에 대한 수신 Power를 그래프로 나타냈다.

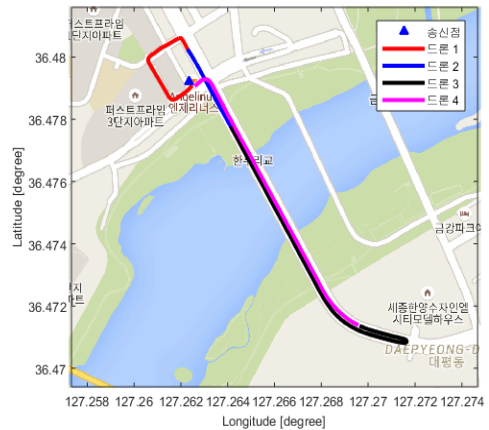


그림 6. 각 드론별 비행 경로  
 Fig. 6. Each drone's flight path

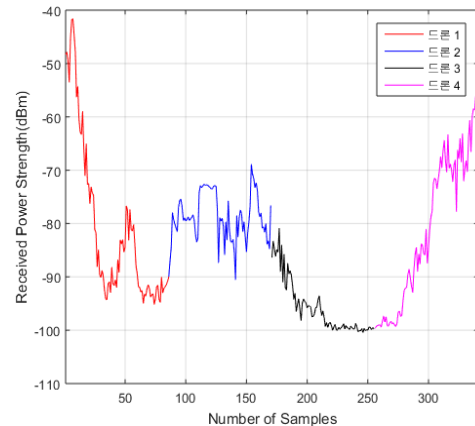
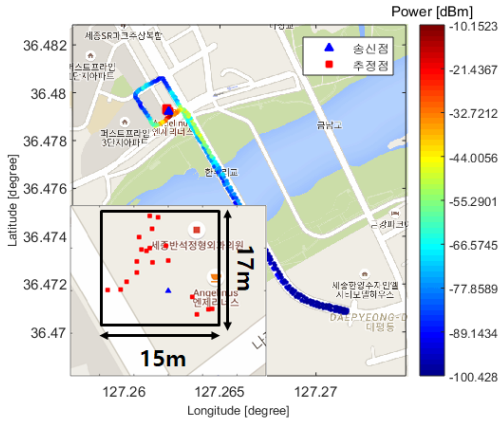
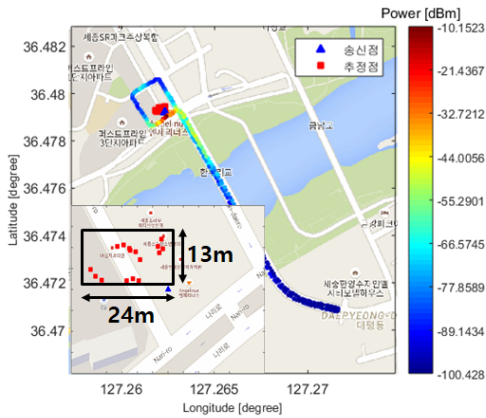


그림 7. 각 드론 별 수신 Power  
 Fig. 7. Receive power per drones

전체 수신 Power 중 최대값은  $-42.16\text{dBm}$ 이며 최소값은  $-100.42\text{dBm}$ 이다. 수신 Power 데이터를 이용하여 TDOA 기법을 이용하여 목표물의 위치를 추정하였다. 그림 8은 TDOA 기법을 통한 목표물의 위치를 추정한 결과를 나타냈다.



(a)

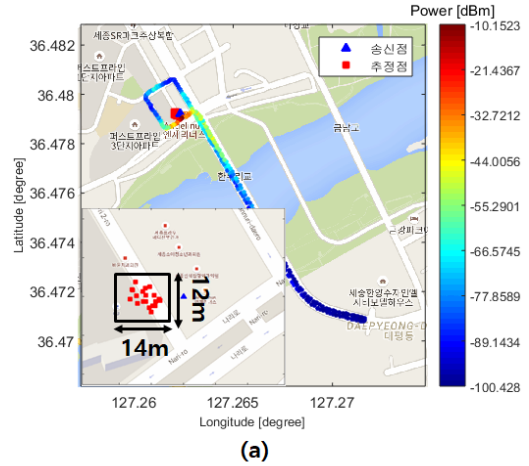


(b)

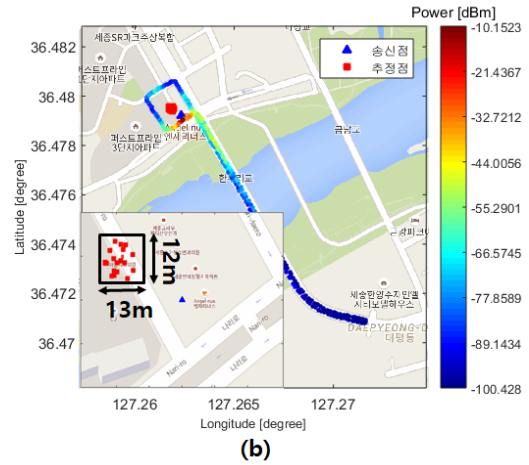
그림 8. TDOA 기법을 이용한 목표물 위치 추정  
Fig. 8. Target position estimation using TDOA technique

목표물의 위치 추정 결과 추정점은 (a)의 고도 15m의 경우 가로 15m, 세로 17m의 균집 분포를 나타냈으며 (b)의 고도 60m의 경우 가로 24m, 세로 13m의 균집 분포를 나타냈다. TDOA 기법의 경우 잡음에 의한 오차가 발생하기 때문에 균집 분포가 목표물에 근접하지 않은 추정 결과가 나타났다. 잡음에 의해 발생하는 오차의 영향을 감소시키기 위해서 테일러 급수를 사용하여 오차의 수렴값을 연산 후 드론의 GPS 위치정보에 반영하여 TDOA

기법을 다 사용했다. 그림 9는 테일러 급수를 이용하여 오차값의 수렴값을 예측하여 목표물의 위치를 추정한 결과이다.



(a)



(b)

그림 9. 테일러 급수 오차값 보정 후 목표물 위치 추정  
Fig. 9. Target position estimation after Taylor series error correction

테일러 급수를 이용해 목표물의 위치 재추정 결과 추정점은 (a)의 고도 15m의 경우 가로 14m, 세로 12m의 균집 분포를 나타냈으며 (b)의 고도 60m의 경우 가로 13m, 세로 12m의 균집 분포를 나타냈다. TDOA 기법만을 활용했을 경우 보다 균집 분포가 감소하였지만, 송신점에서 거리가 떨어진 지점에서 목표물을 추정한다. 기존에 고정적으로 사용되어 왔던 TDOA에 대해서 드론의 비행으로 발생하는 속도벡터를 반영하기 위해 Exact Iterative Algorithm을 반영하여 TDOA 기법을 사용했

다. 그림 10은 드론의 속도벡터를 반영하여 GPS정보를 갱신하여 목표물의 위치를 추정한 결과이다.

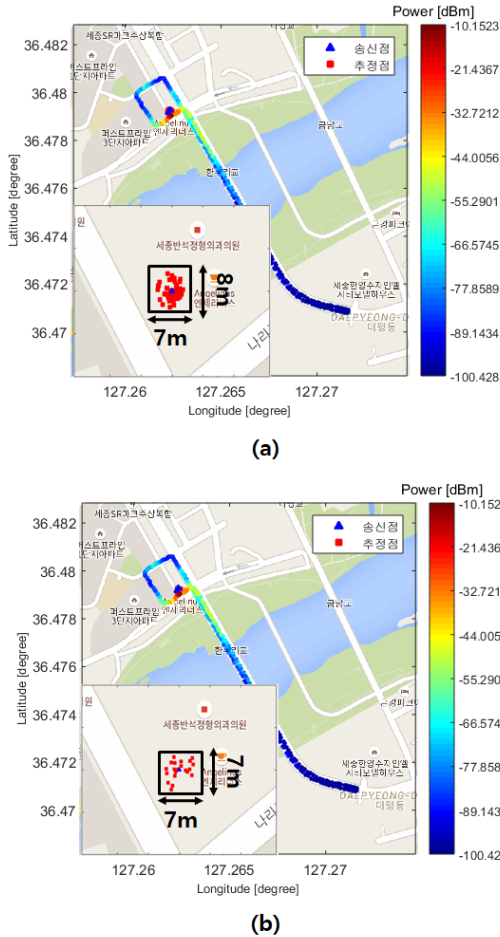


그림 10. GPS 속도벡터 보정 후 목표물 위치 추정  
 Fig. 10. Target position estimation after GPS velocity vector correction

Exact Interactive Algorithm을 이용해 목표물의 위치 재추정 결과 추정점은 (a)의 고도 15m의 경우 가로 7m, 세로 8m의 균집 분포를 나타냈으며 (b)의 고도 60m의 경우 가로 7m, 세로 7m의 균집 분포를 나타냈다.

표 3은 각 알고리즘의 목표 송신점과 시뮬레이션을 통해 도출된 추정점의 평균 오차거리를 나타냈다. TDOA의 경우 15.32m, 테일러 급수를 적용한 경우 12.21m, Exact Interactive Algorithm을 적용한 경우 5.47m의 평균 오차 거리가 나타났다.

표 3. 신호처리별 평균 오차 거리

Table 3. Average Error Distance Per Direction Finding

Parameter	TDOA	테일러 급수	Exact Interactive Algorithm
평균 오차거리	15.32m	12.21m	5.47m

## IV. 결 론

본 논문에서는 지상 방향탐지 측정 데이터를 기반으로 드론의 방향탐지 시뮬레이션을 위해 드론의 수신 신호 채널 환경을 구성하고 시뮬레이션을 구현하였다. 목표물의 위치를 추정하는 시뮬레이션은 차량과 3대의 드론을 이용한 방향탐지 두 가지 방법을 활용하여 Apollonius Circle 기법을 활용하여 목표물의 위치를 추정하였다. Apollonius Circle 기법은 신호의 수신 Power의 비를 이용하여 내분점·외분점을 통해 Apollonius Circle의 원의 중심과 반지름을 연산한다. 수신 데이터의 그룹을 3개로 분할하여 3개의 위치의 수신 Power를 이용하여 여러 Apollonius Circle를 연산하여 원이 중첩되는 점의 위치를 목표물 위치로 추정한다. 차량 방향탐지의 경우 목표물을 추정하는 추정점의 균집 분포가 40×50m, 평균 오차거리는 12.39m가 나타났지만 드론 방향탐지의 경우 고도가 15m 일 때 균집 분포가 4×5m, 평균 오차거리 1.23m으로 나타났으며 고도가 60m 일 때 균집 분포가 6×10m, 평균 오차거리 3.05m로 나타났다.

지상 방향탐지는 NLOS 환경이 다수 존재하기 때문에 균집 분포 및 오차거리가 높게 보였지만 드론 방향탐지는 LOS환경을 구성할 수 있는 이점을 이용하여 시뮬레이션 결과 지상 방향탐지 보다 정확한 목표물의 위치 탐지가 가능할 수 있었다.

## References

- [1] Wook Rhee, Jong-soo Choi, "Experimental Studies for Source Positioning Using TDOA Algorithm", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 2006, No.5 pp.108-112, May 2006.
- [2] Hee Won Kang, Dong-Hwan Hwang, Chansik Park, "Taylor Series Method Design for Reducing

Height Error in TDOA-Based Real-Time Locating System”, ICROS, Vol. 2010, No.5, pp.381-382, May 2016.

- [3] Hong-Sun Yang, Soon-Yong Chun, “TDOA Direction Finding Method for Search the Location Information of Electromagnetic-wave Radiator”. Journal of institute of control robotics and systems, Vol. 1, No. 1, pp.264-269, Jul 2011.
- [4] Guowei Shen, Rudolf Zetik, and Reiner S. Thoma. “Performance Comparison of TOA and TDOA Based Location Estimation Algorithms in LOS Environment”, PROCEEDINGS OF THE 5th WORKSHOP ON POSITIONING, pp.71-78, May 2008. DOI: <https://doi.org/10.1109/wpnc.2008.4510359>
- [5] WADE H. FOY “Position-Location Solutions by Taylor-Series Estimation”, IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, Vol 12, No 2, pp.187-,194, Mar 1976. DOI: <https://doi.org/10.1109/taes.1976.308294>
- [6] Wei Li, Zimu Yuan, Biao Chen, Wei Zhao, “Performance Comparison of Positioning Algorithms for Complex GPS Systems”, Distributed Computing Systems Workshops, Vol.32, pp.273-278, Aug 2012. DOI: <https://doi.org/10.1109/icdcs.2012.109>
- [7] Amorim, Raphael, et al. “Radio channel modeling for UAV communication over cellular networks.” IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 6, No 4 pp.514-517, May 2014 . DOI: <https://doi.org/10.1109/lwc.2017.2710045>
- [8] J.T. Oh, “A Study on Positioning Error according to Signal Sampling Rate in TDOA Positioning System.” The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 16, No 6 pp.191-196, Dec 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.6.191>

## 저자 소개

### 최 홍 락(준회원)



- 2017년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 공학사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 석사과정
- <주관심분야 : 전파통신, 위성통신, 전파신호처리, IR-UWB 레이더 신호처리>

### 하 태 영(준회원)



- 2013년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 학사과정
- <주관심분야 : 전파탐지, 드론, 방향탐지, 영상처리>

### 김 용 원(준회원)



- 2004년 4월 ~ 2007년 5월 : 한국전자통신연구원 초고주파소자팀 연구원
- 2009년 7월 ~ 현재 : 충청지역사업평가관리원 New IT선도산업실 선임연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 대학원(박사과정)
- <주관심분야 : 가시광 통신, Cognitive Radio, 전력선 통신>

### 김 경 석(정회원)



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 정교수
- <주관심분야 : 5G Massive-MIMO, 전파채널모델링, 복합재난 모델링 기술, 위성보안망분석, Cognitive Radio, 전력선통신, 가시광통신, 디지털라디오, 전파감시/관리시스템 >