

## 무인항공기를 이용한 3차원 방향탐지 기법 연구

# 3-D Direction Finding Techniques Using Unmanned Aerial Vehicles

최 홍 락 · 최 준 성\*

충북대학교 전파통신공학과

Hong-Rak Choi · Junsung Choi\*

Department of Radio and Communication Engineering, Chungbuk National University, Chungcheongbuk-do, 28644, Korea

### [요 약]

수동식 위치표정은 전파를 발생하는 목표물을 기지국 또는 차량을 이용해 다양한 기법을 활용하여 탐지한다. 하지만, 기지국과 차량은 이동의 제한이 많을 뿐만 아니라 환경의 영향을 많이 받게 되며 활용되던 기법들은 2차원으로 목표물의 위치만 탐지가 가능하다. 따라서 본 연구에서는 민간, 상업용으로서 다양한 활용 중인 높은 위치에서 이동성을 겸비한 무인항공기를 이용하여 3차원으로 목표물의 위치를 탐지하는 기법을 다룬다. 수신 전력만을 이용하여 가상의 3차원 구를 생성해 목표물의 위치를 추정하는 기법을 제안하며 시뮬레이션을 구성하여 결과를 분석하였다. 구성된 시뮬레이션은 지상 차량 실측데이터와 동일한 위치에서의 무인항공기를 위치시켰을 때 3차원 방향탐지 기법을 사용하여 목표물의 위치를 추정하는 성능을 비교·분석하였다.

### [Abstract]

The manual direction-finding method detects a target that emits radio waves using a base station or vehicle, utilizing various techniques. However, base stations and vehicles have many limitations in mobility and are heavily affected by environmental factors, and the techniques traditionally used could only detect the target's location in two dimensions. Therefore, this study presents a technique for detecting the target's location in three dimensions using an unmanned aerial vehicle(UAV), which is widely used for civilian and commercial purposes and combines mobility with a higher vantage point. We propose the method that estimates the target's location by generating a virtual 3D sphere using only the received power, and we conducted a simulation to analyze the results. The simulation was compared and analyzed with ground vehicle measurement data to evaluate the performance of 3D direction-finding when positioning the UAV at the same location.

**Key word** : UAV, Direction finding, 3-D position, Sphere, RSSI.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2024.28.5.678>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 30 September 2024; Revised 26 October 2024

Accepted (Publication) 29 October 2024 (31 October 2024)

\*Corresponding Author; Junsung Choi

Tel: +82-43-261-3376

E-mail: choijs@chungbuk.ac.kr

## I. 서론

전파를 활용하여 목표물의 방향 또는 위치를 추정·탐지하는 방법은 능동식/수동식 위치표정방식 두가지로 나뉜다. 능동식 위치 표정방식은 직접적으로 생성한 전파를 발생시켜, 물체에 반사되어 돌아오는 전파를 수신하여 방향 또는 위치를 탐지한다. 능동식 위치표정방식은 대표적으로 레이더가 있다. 능동식 위치표정방식은 목표물이 전파를 발생시키지 않아도 목표물의 방향 또는 위치를 추정·탐지할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 능동형 위치표정방식은 장애물로 인한 위치표정이 어려워질 수 있는 단점이 있다. 반면 수동식 위치표정방식은 목표물에서 전파를 발생하는 경우 다중의 수신기에서 전파를 수신하여 목표물의 방향 또는 위치를 탐지한다[1]. 수동식 방향탐지는 전파를 발생하는 목표물의 정확한 추정·탐지를 목표로 한다.

정확한 추정·탐지 목적을 달성하기 위한 다양한 방법이 제시되었다. 일반적으로는 지상에서 차량을 통해 실시하거나, 높은 위치에 있는 기지국의 안테나 등을 이용하여 목표물의 위치를 추정·탐지해왔다. 차량은 이동성이 뛰어난 장점이 있지만, 낮은 고도에 위치하여 있으므로 건물이나, 방해물에 의해 NLOS (non line of sight) 환경에서 전파가 수신되어 목표물의 위치가 부정확하게 탐지될 수 있는 단점이 있다. 결국 높은 위치에 설치된 기지국과 같은 아테나를 이용해 LOS (line of sight) 환경에서의 신호 수신은 가능하지만, 이는 이동 하는데 설치·분해 등 다양한 과정이 있다는 단점이 있다. 또한 기존의 목표물을 탐지하기 위한 알고리즘들은 2차원으로 목표물의 위치만 표정하는데 한계가 있다.

본 논문에서는 수동식 표정방식의 장단점을 극복할 수 있도록 이동성을 겸비하면서 높은 위치에서 LOS 환경을 조성할 수 있는 무인항공기(UAV; unmanned aerial vehicle)를 이용하고자 한다. 무인항공기는 드론(drone)이라 불리기도 하며, 조종사가 탑승하지 않고 비행할 수 있는 항공기이다. 최초 무인항공기는 군사용으로 개발되었지만, 기술의 발달과 증가하는 수요로 점차 민간, 상업용으로 빠르게 도입되면서 무인항공기 시장이 확대되어 교통관제, 배송, 농업, 방송, 재난 등 활용 범위가 증가하고 있다[2]. 본 논문에서는 특정 주파수 RF(radio frequency) 신호를 발생하는 목표물을 3차원으로 탐지하기 위한 시뮬레이션을 구성하여 지상과의 성능을 비교분석 하고자 한다.

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 방향탐지에 대한 관련연구들에 설명하고, III장에서는 무인항공기를 활용한 3차원 방향탐지 방법을 기술하며, IV장에서는 시뮬레이션의 환경을 설명하고 도출된 결과에 분석하여 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 방향탐지의 관련연구

일반적으로 방향탐지의 관련된 연구들은 측정 장비에서 목표물을 정확하게 탐지하기 위해 안테나, 시간, 전력 등을 활용하여 목표를 탐지했다.

### 2-1 AOA

AOA (angle of arrival) 기술은 목표물의 신호를 수신한 3개의 탐지장치에서 신호의 수신 각도의 차이를 이용하여 위치정보를 탐지하는 기술이다[4]. AOA는 일반적으로 각각의 탐지장치에서 신호의 수신각도를 측정하기 위해 안테나 배열(antenna array)을 사용한다. 단, 방향탐지를 위한 상황에 따라 안테나 배열이나 360°수신 안테나 등 다양한 방법을 활용한다. AOA는 각 탐지장치간의 동기화가 필요없으며, 탐지장비마다 목표물의 수신받은 신호의 각도를 통해 목표물의 위치를 탐지한다. AOA는 목표물과 측정장치간의 거리가 짧은 경우 정확한 탐지가 가능하다. 그러나 단점으로는 LOS 환경이여도, 신호의 반사로 인한 정확도, 정밀도가 감소하며, 탐지장치의 장치가 크고 복잡하다는 단점이 있다. 대표적인 AOA 기법은 항공기 내비게이션에서 사용하는 VOR (VHF omnidirectional range) 시스템이 있다.

### 2-2 TDOA

TDOA(time difference of arrival)는 목표물에서 발생한 신호를 적어도 3개의 탐지장비를 활용한다면 위치를 계산할 수 있다. TDOA는 목표물에선 발생한 전파를 탐지장치에서 power를 측정된 뒤 전파 손실(path-loss) 특성을 이용하여, 목표물과 탐지장치간의 거리를 유추한다. 이후 전파가 도달한 시간을 계산하여 각각의 탐지장비의 측정된 시간의 차이를 이용하여 목표물을 탐지한다. TDOA는 각 탐지장비마다 시간 동기화가 완벽하게 일치해야, 목표물의 위치를 탐지할 수 있다. TDOA는 2개의 탐지장비마다 사이의 일정한 거리의 차를 그리는 쌍곡선을 각각의 탐지장비마다 연산하고 여러 개의 쌍곡선이 교차하는 지점을 목표물로 탐지한다[3]-[4]. TDOA는 AOA보다 높은 정확도를 가지고 있지만, 각 탐지장비마다 시간 동기화가 반드시 필요하므로 설치 및 운영에 큰 어려움이 있다.

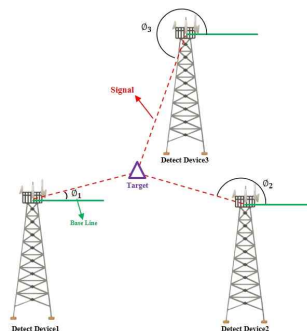


그림 1. AOA 목표물 탐지 개요도  
Fig. 1. AOA target detection overview.

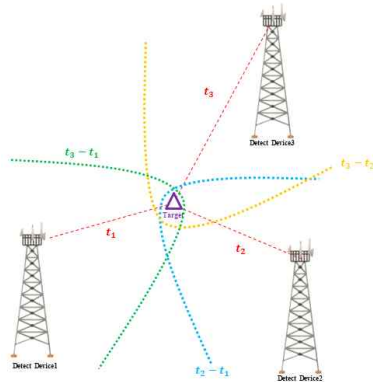


그림 2. TDOA 목표물 탐지 개요도  
Fig. 2. TDOA target detection overview.

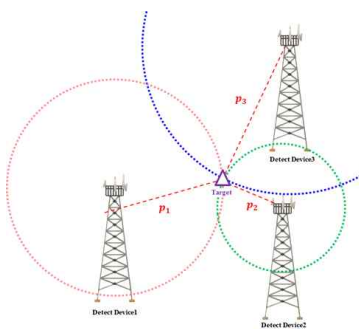


그림 3. PDOA 목표물 탐지 개요도  
Fig. 3. PDOA target detection overview.

2-3 PDOA

PDOA(power difference of arrival)는 RSSI(received signal strength indicator) 방식이라고도 불리며 방향 탐지를 위한 가장 간단한 방법으로 많이 사용되는 방법이다. 3대 이상의 탐지 장비에서 수신되는 신호의 데시벨(dB) 또는 전력(watt)을 측정하여 목표물과 탐지장비간의 거리를 추정할 수 있다. 수신받은 신호의 power가 높을수록 목표물과 탐지장비의 거리가 짧아지고 power가 낮을수록 목표물과 탐지장비의 거리가 멀어진다. 이는 다수의 전파 손실 모델을 사용하여 추정할 수 있다 [5]. PDOA는 전파 손실 모델을 이용해 거리를 역계산한 뒤 각각의 탐지장비를 중심으로 하여 원을 그려 겹치는 부분을 목표물의 위치로 탐지한다. PDOA는 접근법이 간단하고 비용면에서 아주 효율적인 장점이 있지만, 다중 경로 페이딩(multi-path fading) 방해와 특히 장애물에 의한 NLOS 환경에서는 목표물의 정확도가 낮다는 단점이 있다.

III. 무인항공기 3차원 방향탐지 기법 제안 및 시뮬레이션

3-1 3차원 방향탐지 기법 제안

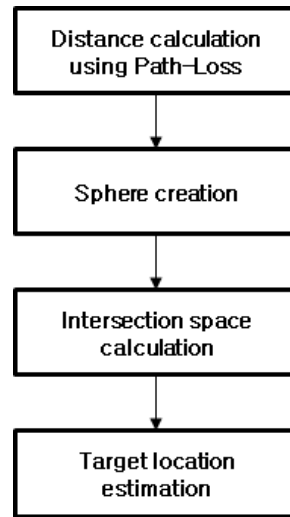


그림 4. 3차원 방향탐지 흐름도  
Fig. 4. Three dimension direction finding flow chart.

본 연구에서는 무인항공기를 활용하여 3차원으로 목표물의 위치를 탐지하는 기법을 제안하고자 한다. 무인항공기는 전원 공급량이 제한적이며, 특히 기동 속도 및 시간 등을 고려할 때 적재 가능한 무게가 많아질수록 높은 전원공급이 필요하거나 전원공급이 높게 필요한 고성능 장비는 제한적이라 판단된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 복잡한 장비가 필요 없는 기법을 제안하고자 한다. 탐지장비에서 수신할 수 있는 power만 측정가능한 정도의 장비와 현재의 위치정보를 알 수 있는 GPS를 이용하면 PDOA에 기반한 제안하는 3차원 방향 탐지 기법으로 목표물의 3차원 위치를 추정할 수 있다. 그림 4는 무인항공기를 이용한 3차원 방향탐지 기법의 흐름도를 나타낸다.

1) Distance calculation using path-loss(path-loss 역계산)

일반적으로 전자기파의 전파가 진행되는 거리 및 환경의 특성에 따라 송수신 간 전파세기가 감소한다. path-loss에서는 거리를 중요한 손실계수로 보고 있으므로 무인항공기에서 수신한 신호의 세기를 역계산하여 거리를 추정할 수 있다. 예를 들어 수식 (1)의 자유공간 경로손실(FSPL; free space path-loss)은 흡수, 반사, 굴절 등과 같은 매질 방해요소가 없는 공간에서 전파를 송신할 때 발생하는 전파손실값을 나타낸다[6].

$$FSPL(dB) = 20\log(d) + 20\log(f) - 147.55 \tag{1}$$

$d$ 는 거리를 나타내며,  $f$ 는 신호의 주파수를 나타낸다. 이를 거리로 추정하기 위해서 수식 (2)로 변환하여 식으로 변환할 수 있다.

$$d = 10^{(FSPL - 20\log(f) + 147.55/20)} \tag{2}$$

2) Sphere creation(구 생성)

무인항공기에서 수신한 전파의 세기를 path-loss를 이용하여 거리를 역계산하였다면 직교좌표계의  $x, y, z$ 에 대해 거리( $d$ )의 크기로 이루어진 구 표면에 대한 좌푯값을 획득할 수 있도록 구면좌표계를 이용하여 구를 생성한다.

$$S_{x,y,z} = \begin{cases} S_x = d \sin(\theta) \cos(\psi) + C_x \\ S_y = d \sin(\theta) \sin(\psi) + C_y \\ S_z = d \cos(\theta) + C_z \end{cases} \quad (3)$$

$$0 \leq \theta \leq \pi, 0 \leq \psi \leq 2\pi$$

$S_{x,y,z}$ 는 구에 대한 표면의 좌푯을 나타내며,  $C_x, C_y, C_z$ 는 무인항공기의 경도, 위도, 높이를 나타내며 방위각( $\psi$ )은 경사각( $\theta$ )은 방향탐지를 위한 장치의 성능에 따라 정해진 범위내에 분해능(resolution)을 설정한다.

3) Intersection space calculation(교차공간 계산)

각 무인항공기에서 생성된 구는 목표물과의 거리에 따라 각각 반지름의 크기가 다를 수 있다. 또한 무인항공기의 위치에 따라 교차공간이 발생하는 상황이 3가지가 발생한다.

(1) 교차공간이 없는 경우

- 교차 공간이 발생하지 않는 경우는 무인항공기에서 다양한 path-loss 모델을 환경에 맞지 않는 모델을 사용하지 않아 교차공간이 발생할 수 있다. 그림 5는 교차공간이 발생하지 않는 상황을 표현한다.

(2) 교차공간이 다른 하나의 구 전체인 경우

- 교차 공간이 한 개의 구 전체에 발생한 경우는 한 대의 무인항공기가 목표물에 너무 가깝고, 다른 한 대의 무인항공기가 목표물과 멀리 있으면 다른 한 대의 구가 잠식된다. 그림 6은 교차공간이 한 개의 구 전체에 발생한 상황을 표현한다.

(3) 교차공간이 각 구마다 일부분 발생한 경우

- 교차 공간이 두 구에서 일부분 발생하였을 때 목표물의 위치를 탐지할 수 있는 상황이다. 그림 7은 교차공간이 두 구에서 일부분 발생한 상황을 표현한다.

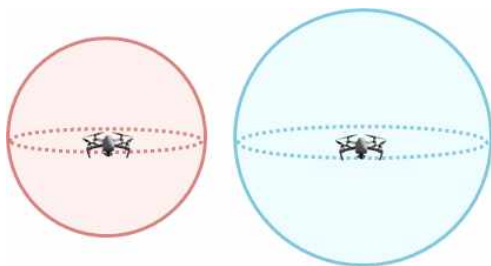


그림 5. 교차공간이 발생하지 않은 상황 개요도  
Fig. 5. Overview of a non-intersection case.

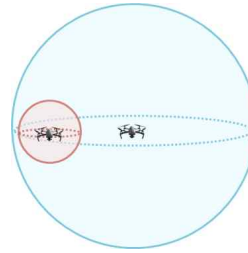


그림 6. 교차공간이 구 전체에 발생한 상황 개요도  
Fig. 6. Overview of a case where the intersection space contains the entire smaller sphere.

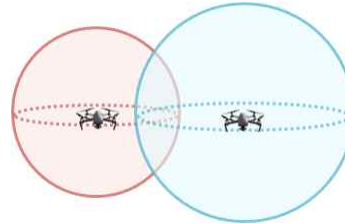


그림 7. 교차공간이 구 일부분에 발생한 상황 개요도  
Fig. 7. Overview of a case where the intersection occurs partially in each sphere.

교차공간이 각 구마다 일부분 발생한 경우에만 목표물을 탐지할 수 있는데 이때 각 구마다 겹쳐지는 공간의 point는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$D1 = \sqrt{(S1_x - C2_x)^2 + (S1_x - C2_y)^2 + (S1_z - C2_z)^2} \quad (5)$$

$$D2 = \sqrt{(S2_x - C1_x)^2 + (S2_x - C1_y)^2 + (S2_z - C1_z)^2}$$

$$M_{x,y,z} = \{ \text{if } D1 \leq r2$$

$$M_{x,y,z} = \{ \text{if } D2 \leq r1$$

$D1$  무인항공기1의 위치(위도, 경도, 높이)와 무인항공기2의 구면좌표( $S2$ )에 대한 점의 거리를 계산하였다.  $D2$ 는 무인항공기2의 위치(위도, 경도, 높이)와 무인항공기1의 구면좌표( $S1$ )에 대한 점의 거리를 계산하였다.  $D1, D2$ 의 거리를 이용해 구 내부에 위치한 교차공간의 점은 무인항공기1, 2에서 생성된 반지름( $r1, r2$ )내 있는 조건을 이용하여 구의 교차공간의 좌푯( $M_{x,y,z}, M_{x,y,z}$ )를 획득할 수 있다.

4) Target location estimation(목표물 위치 추정)

무인항공기 1과 2가 교차공간의 좌푯을 획득하게 되었다면, 각 구마다 교차공간 으로 발생하는 표면좌푯값을 이용하여, 목표물의 위치를 식 (6)을 이용하여 추정한다.

$$T_{x,y,z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{(M_{x,y,z} + M_{x,y,z})}{(r_2/r_1)} \text{ if } M_x, M_z \geq 0 \right. \quad (6)$$

$T_{x,y,z}$ 는 목표물의 추정위치에 대한 위도, 경도, 높이이며 식

(5)의 교차공간의 좌표( $M_{x,y,z}, M_{x,y,z}$ )가 생성된  $n$ 개에 따른 평균값을 계산하게 된다. 다만 목표물의 위치를 추정할 때 경도, 위도는 관계 없지만, 높이의 경우 목표물과의 거리로 인해 지표면보다 낮은 위치에 교차공간이 발생할 수 있다. 지표 위에 있는 목표물을 인식하기 때문에 지표보다 낮은 교차공간은 고려하지 않는다.

### 3-2 시뮬레이션 구성 환경

3차원 방향탐지의 성능분석을 위한 시뮬레이션에서 사용한 파라미터를 표 1에 나타내었다. 탐지 위치는 세종시 첫마을이고 탐지 주파수대역은 800 MHz의 대역폭 40 MHz이며, 측정을 위해 발생한 신호의 출력 세기는 30 dBm이다. 이는 실제 차량을 이용한 측정을 기반으로 있다.

800 MHz에서 무인항공기의 수신 power를 결정하기 위하여 수식 (7)을 통해 무인항공기의 수신 power의 세기를 결정하였다.

$$P_{RX}(d) = P_{TX} - PL_{UAV}(d) \tag{7}$$

$P_{RX}(d)$ 는 무인항공기의 거리( $d$ ) 만큼 떨어진 위치에서의 수신 power이며,  $P_{TX}$ 는 송신 신호의 출력 power,  $PL_{UAV}(d)$ 는 무인항공기에서 거리( $d$ )에 따라 사용되는 path-loss 모델을 나타낸다. path-loss 모델 따른 거리의 오차를 확인하기 위하여, FSPL과 Hata, 3GPP 800MHz 대역의 urban micro cell path-loss 모델을 사용하였다. FSPL은 수식 (1)이며, Hata는 수식 (8), 3GPP Umi(urban micro cell)는 수식 (9)에 나타냈다[6]-[8]. 또한, 그림 8은 수식 (7)~(9)의 path-loss 모델의 거리에 따른 신호 감쇠량을 비교한 그래프이다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameter.

Parameter		Value
Target Location	Measurement Location	Sejong City's First Village
	Latititution	36.479196
	Longitude	127.262363
	Height	6
Signal	Detection Frequency	800 MHz
	Bandwidth	40 MHz
	Signal Output Power	30 dBm
Simulation	Path-Loss Model	FSPL Hata 3GPP Umi(800 MHz)
	Noise Power	$N(0, \sigma)$
	UAV Antenna Height	30 m
	UAV Count	2
	Vehicle Antenna Height	2 m
	Latititution 1	36.4787
	Longitude 1	127.262
	Latititution 2	36.4773
	Longitude 2	127.265

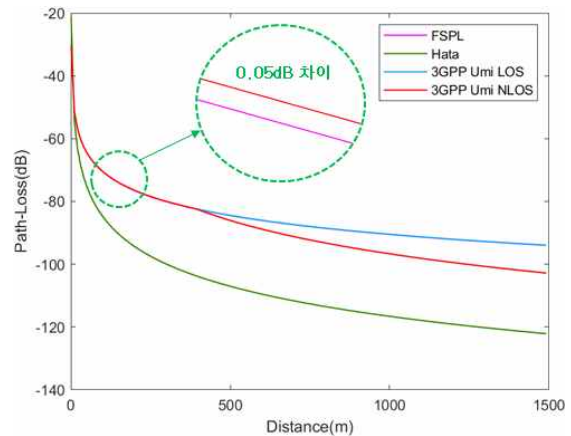


그림 8. 3가지 Path-Loss Model 비교

Fig. 8. Comparison of three path-loss models.

$$Hata = 69.55 + 26.16\log(f_c) - 13.82(h_b) - 0.8 + [1.1\log(f_c) - 0.7] - 1.56\log(f_c) + [44.9 - 6.55\log(h_b)]\log(d) \tag{8}$$

$$LOS : PL_{LOS} = 32.4 + 20\log(d) + 20\log(f_c) \tag{9}$$

$$NLOS : PL_{NLOS} = \max(PL_{LOS}, 22.4 + 35.3\log(d) + 21.3\log(f_c) - 0.3(h_{UT} - 1.5))$$

### 3-3 시뮬레이션 결과 분석

3차원 방향탐지 기법을 적용한 무인항공기의 성능분석을 위해 차량에서 측정된 실측 데이터와 동일한 기법을 적용해 상호간의 성능분석을 하고자 한다. 차량과 무인항공기의 위치는 동일하게 고정하여 결과분석 하였다.

#### 1) FSPL

자유공간 경로손실의 수식 (1)을 사용하여 거리를 역추적하여 3차원 기법을 이용하여 목표물의 위치를 추정하였다. noise에 따라 거리의 추정이 변화하기 때문에 10회를 반복하여 확인하였으며, FSPL에 대한 X, Y, Z에 error parameter를 평균, 최대, 최소를 비교하였다. 그림 9의 (a)는 FSPL을 차원 기법을 통해 목표물의 위치를 noise에 따른 10회 도출한 결과이며, (b)는 2차원 평면을 3차원 평면으로 이동한 결과이다. (c)는 차량의 목표물 탐지 결과를 나타낸다.

무인항공기는 X축(경도)에서 평균 4.68 m, Y축(위도)에서 27.76 m, Z축(높이) 4.4 m의 오차를 보였다. 그러나 실측 데이터를 활용한 차량의 경우 측정된 환경이 자유공간(free space)이 아니기에 부정확한 거리가 측정되어 3-1의 그림 6과 같은 교차공간이 다른 구 전체에 발생하였다.



표 2. FSPL 시뮬레이션 결과  
Table 2. FSPL simulation result.

Error Distance Parameter		Value	
UAV	X(m)	Mean	4.68
		Max	11.87
		Min	0.61
	Y(m)	Mean	27.76
		Max	38.77
		Min	19.43
Z(m)	Mean	4.4	
	Max	3.59	
	Min	5.15	
Vehicle	X(m)	Impossible	
	Y(m)	Impossible	
	Z(m)	Impossible	

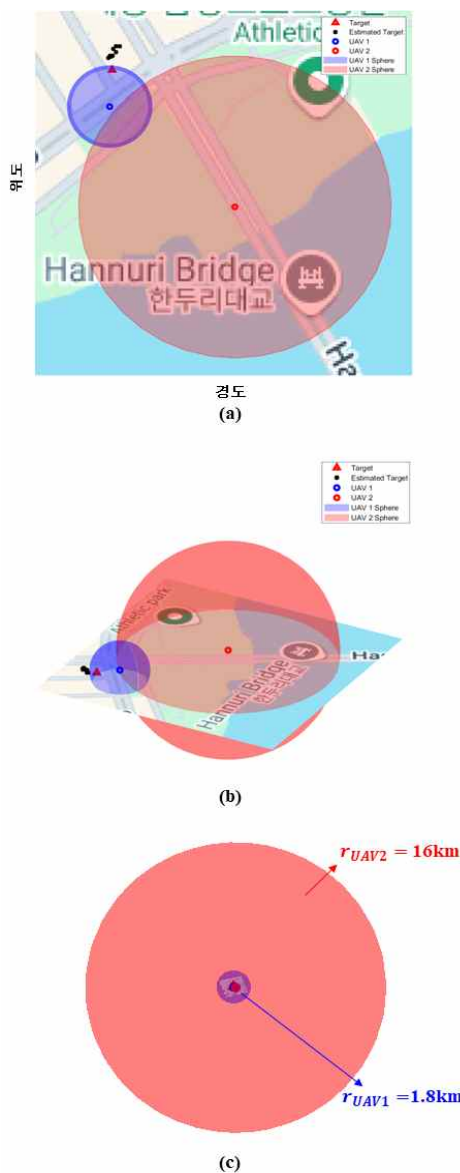


그림 9. FSPL 시뮬레이션 결과  
Fig. 9. FSPL simulation result.

2) Hata

Hata path-loss 모델의 수식 (8)을 사용하여 거리를 역추적하여 3차원 기법을 이용하여 목표물의 위치를 추정하였다. 이전과 동일하게 10회 반복하였으며, 표3에 FSPL에 대한 X,Y,Z에 error parameter를 평균, 최대, 최소를 비교하였다. 그림 10의 (a)는 Hata path-loss 모델을 3차원 기법을 통해 목표물의 위치를 noise에 따른 10회 도출한 결과이며, (b)는 차량과 무인항공기 간의 거리를 명확히 나타내는 결과이다.

무인항공기는 X축(경도)에서 평균 4.98 m, Y축(위도)에서 20.65 m, Z축(높이) 2.03 m의 오차를 보였으며 차량과는 X축으로 약 1 m, Y축으로 약 10 m, 높이는 약 2 m로 정확한 측정이 가능하였다.

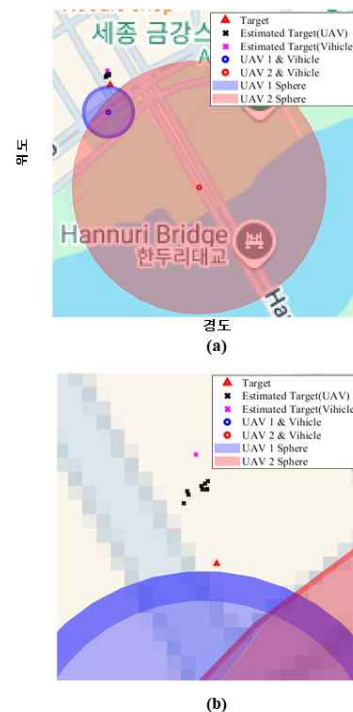


그림 10. Hata 시뮬레이션 결과  
Fig. 10. Hata simulation result.

표 3. Hata 시뮬레이션 결과  
Table 3. Hata simulation result.

Error Distance Parameter		Value	
UAV	X(m)	Mean	4.98
		Max	9.13
		Min	2.47
	Y(m)	Mean	20.65
		Max	23.08
		Min	16.84
Z(m)	Mean	2.03	
	Max	1.54	
	Min	2.51	
Vehicle	X(m)	5.84	
	Y(m)	30.54	
	Z(m)	4.70	

### 3) 3GPP Umi

3GPP의 Umi 수식 (9)에서 무인항공기는 LOS환경의 path-loss 식( $PL_{LOS}$ )를 사용하였으며, 차량은 NLOS 환경을 가정한 path-loss 식( $PL_{NLOS}$ )를 사용하였다. 거리를 역추적하여 3차원 기법을 이용하여 목표물의 위치를 추정하였다. 이전과 같이 10회 반복하였으며, 표 4에 3GPP에 대한 X,Y,Z에 error paramter를 평균, 최대, 최소를 비교하였다.

그림 11은 무인항공기의 3GPP Umi path-loss 모델을 3차원 기법을 통해 목표물의 위치를 noise에 따른 10회 도출한 결과이다. 차량의 경우 그림8에서와 같이 거리상 FSPL과 0.05 dB 차이밖에 발생하지 않아 자유공간 경로손실과 거의 유사한 path-loss를 가지고 있으므로 거리가 유추되지 않았다.

무인항공기는 X축(경도)에서 평균 4.24 m, Y축(위도)에서 22.53 m, Z축(높이) 4.47 m의 오차를 보였다. 차량의 경우 측정된 환경이 path-loss모델이 FSPL 모델과 0.05 dB차이나기 때문에 3-3의 1)FSPL과 그림 9의 (c)와 동일한 상황이 발생하였다.

power 수신시 발생할 수 있는 잡음에 대하여 error distance의 발생 확률을 알 수 있도록 그림 12에 X축, Y축, Z축 대비 발생할 수 있는 error distance에 대한 CDF(cumulative distribution function) 그래프를 나타낸다. (a)는 X축에 대한 CDF 그래프이며, (b)는 Y축에 대한 CDF 그래프이고 (c)는 Z축에 대한 CDF 그래프이다.

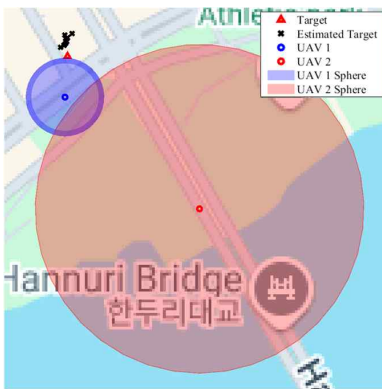


그림 11. 3GPP Umi 시뮬레이션 결과  
Fig. 11. 3GPP Umi simulation result.

표 4. 3GPP Umi 시뮬레이션 결과

Table 4. 3GPP Umi simulation result.

Error Distance Parameter		Value	
UAV	X(m)	Mean	4.24
		Max	10.36
		Min	0.02
	Y(m)	Mean	22.53
		Max	33.12
		Min	13.11
Z(m)	Mean	4.47	
	Max	1.84	
	Min	5.4	
Vehicle	X(m)	Impossible	
	Y(m)	Impossible	
	Z(m)	Impossible	

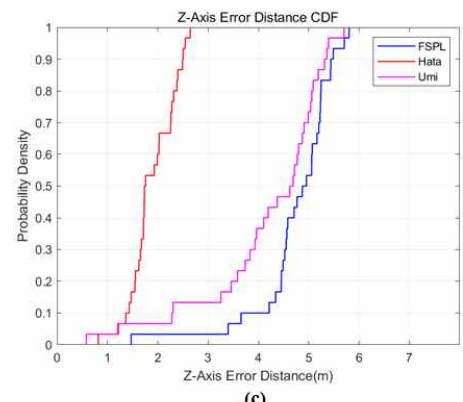
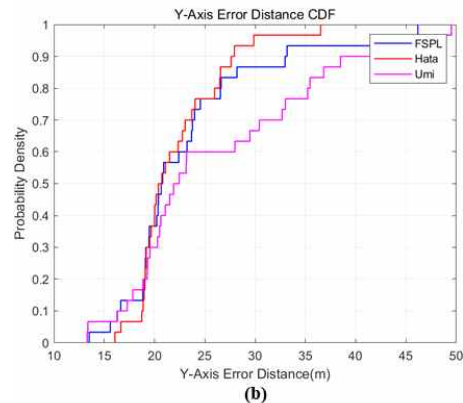
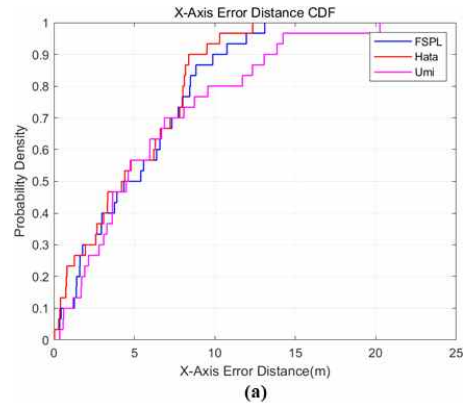


그림 12. 오차거리 누적 분포 함수 그래프  
Fig. 12. Error distance cumulative distribution function graph.

그림 12의 CDF 그래프는 잡음에서 발생할 수 있는 오차가 발생하는 문제점을 제시한다. 이는 사용한 path-loss 모델에 대하여 수신 power와 잡음이 혼합되어 구 반지름( $r_{UAV}$ )의 변화로 오차가 발생하였다. path-loss 모델마다 차이가 보이지만 X축, Y축은 유사한 error distance를 보인다. 하지만 Z축의 경우 수신자의 높이를 활용하는 Hata 모델의 경우 다른 path-loss 모델 보다 높은 정확도를 보였다. 추가적으로 본 시뮬레이션에서 하용한 구 반지름은 거리( $d$ )이면서 m단위를 사용하지만, 무인항공

기의 위치값은 X축, Y축은 위도, 경도를 사용한다. X축, Y축은 지리좌표계이지만, m단위를 사용하는 구와 Z축은 평면좌표계를 사용한다. 지리좌표계와 평면좌표계를 병합하여 사용하는 것은 실제적인 거리차이를 발생시켰다. 특히, 평면좌표계에서 동일한 구의 반지름을 확장하면 위도의 경우 경도에 따라 변하는 거리가 달라지기 때문에 Y축의 위도에서의 오차는 X축보다 큰 오차를 발생하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 방향탐지를 할 때 무인항공기를 기반으로 3차원 목표물의 위치를 추정할 수 있는 기법을 제안하였다. 제안 기법은 MATLAB 시뮬레이션으로 무인항공기에 대한 상황을 구현하여 차량 측정데이터와 동일한 기법을 적용하였다.

시뮬레이션에서는 FSPL, Hata, 3GPP Umi path-loss 모델을 적용하였으며 3차원 기법을 적용하였을 때 Hata 모델의 정확도가 높은 것을 확인하였다. 결과적으로 시뮬레이션 결과 목표물의 위치를 정확하게 추정하기 위해서는 환경에 맞는 path-loss 모델을 사용하여 거리를 정확하게 추정할 필요가 있었다.

다만, 본 논문에서는 새롭게 높이에 대한 결과를 도출할 수 있지만 기존의 수동식 위치표정방식만큼 X축, Y축에 대한 정확도가 낮다는 단점이 있다. 추가적으로 반드시 구가 일부만 겹쳐야 목표물의 위치가 추정가능하다는 제한사항이 있다. 향후에는 무인항공기의 비행환경을 고려하여 비행과 동시에 목표물의 위치를 추정하면서 정확한 목표 선정을 위한 무인항공기의 위치선정 방법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

## References

[1] W. Rhee and J. -S. Choi, "Experimental studies for source

positioning using TDOA algorithm," *The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 2006, No. 5, pp. 138-142, May. 2006. Retrieved from <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=NPAP08156816>.

[2] S. -I. Oh, "A case study civilian drone," *Proceeding of The Korean Society of BroadEngineers Conference*, 29830753, pp. 315-318, Jul. 2015, Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06396481>.

[3] W. S. Jeong, J. S. Lim, H. K. Baek and J. Y. Koo, "TDOA/AOA-based unknown surveillance radar localization scheme using a single UAV," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 47, No. 8, pp. 1244-1252, April. 2022. DOI : <https://doi.org/10.7840/kics.2022.47.8.1244>.

[4] S. H. Lee, K. W. Min, J. C. Kim, J. W. Kim and J. H. Park, "Technical trend of location-based service," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 2006, No. 3, pp. 33-42, Jun. 2006. DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2005.J.200305>.

[5] I. -Y. Kim, K. -S. Kang, J. -J. Goo and G. S. Choi, "The implementation of a cleaning robot with RSSI based indoor location tracking," *The Institute of Electronics and Information Engineers Conference*, Vol. 2010, pp. 474-475. Nov. 2010. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01588109>.

[6] Wikipedia, free-space path loss [Internet]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space\\_path\\_loss](https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_path_loss).

[7] Wikipedia, Hata model [Internet]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hata\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Hata_model).

[8] 3GPP, TR 38.901: 3rd Generation partnership project; technical specification group radio access network; study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (release 18), 2024.



### 최 홍 락 (Hong-Rak Choi)

2017년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)  
 2017년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학부 통합과정  
 ※ 관심분야 : 전파통신, 무선통신, 전파신호처리, 방향탐지



### 최 준 성 (Junsung Choi)

2013년 : Virginia Tech, Electrical and Computer Programming Engineering (공학사)  
 2016년 : Virginia Tech, Electrical Engineering (공학석사), 2018년 : Virginia Tech, Electrical Engineering (공학박사)  
 2019년 ~ 2021년 : KAIST 조천식녹색교통대학원 연수연구원, 2022년 ~ 2023년 : KAIST 녹색교통시스템연구센터 연구교수  
 2023년 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 조교수  
 ※ 관심분야 : V2X통신시스템, 무선통신채널, ITS통신시스템