

# 기회신호를 활용한 UAV의 방향탐지 연구

김기태<sup>1</sup>, 김광열<sup>2</sup>, 김진우<sup>1</sup>, 정주빈<sup>1</sup>, 이예림<sup>1</sup>, 남다운<sup>1</sup>, 이재승<sup>1</sup>, 신요안<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>숭실대학교 전자정보공학부, <sup>2</sup>(주)솔리드윈텍 연구소

{kita96; jwkim1016; jubin4167; ylee4806; dwnam; jslee9603}@soongsil.ac.kr; kimky@solidwt.co.kr  
\*yashin@ssu.ac.kr

(\*교신저자)

## Research on Direction Finding of UAVs Utilizing Signals of Opportunity

Ki-Tae Kim<sup>1</sup>, Kwang-Yul Kim<sup>2</sup>, Jin-Woo Kim<sup>1</sup>, Ju-Bin Jung<sup>1</sup>, Yelim Lee<sup>1</sup>, Da-Woon Nam<sup>1</sup>,  
Jae-Seung Lee<sup>1</sup>, Yoan Shin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Electronic Engineering, Soongsil University, <sup>2</sup>SOLiD WiNTECH R&D Center

(\*Corresponding author)

### 요약

방향탐지 기술은 전파 감시, 레이더, 무선통신 등 다양한 분야에서 활용되는 기술이며, 기회신호는 기존에 존재하는 무선 신호나 전자파를 다른 용도로 활용하는 기술을 말한다. 본 논문은 기회신호인 FM 라디오 신호를 지향성 안테나를 통해 수신하여 FM 송신소 위치를 방향탐지 하고, 이를 기반으로 방향탐지 알고리즘을 설계 후 제안된 알고리즘의 성능을 비교 분석한다.

### I. 서론

방향탐지 (Direction Finding)는 전파 감시, 레이더, 무선통신 분야에서 중요 주제이며, 그동안 군방 및 민간 분야 모두에서 많은 연구가 진행되어 왔다. 무선통신의 경우, MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 기반 다중 안테나 신호처리 기술이 일반화됨에 따라, 디지털 빔포밍을 이용한 다양한 방향탐지 기술에 적용되고 있다. 일반적으로 방향탐지 기술은 송신기의 포함 여부에 따라 능동형 방식과 수동형 방식으로 분류할 수 있다. 이 때, 수동형 방향탐지 기술을 사용하는 무선통신은 송신기 없이 수신기만으로 다른 송신기에서 송신된 신호를 분석하여 송신기의 방향을 탐지한다[1].

한편, 기회신호 (Signals of Opportunity)는 기존에 존재하는 무선 신호나 전자파를 다른 용도로 활용하여 정보를 추출하거나 새로운 응용을 개발하는 기술을 말한다. 이 신호들은 원래 측위 목적으로 생성한 신호는 아니지만 신호처리를 통해 측위로 활용될 수 있다. 예를 들어, 아군 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 운용 시 GPS (Global Positioning System) 제밍 (Jamming)으로 위치정보에 오차가 발생할 수 있기 때문에, 가용 대역폭이 매우 넓은 방송 신호 등의 기회신호는 다양한 제밍 환경에서도 방향탐지 및 무선측위 신호에 대한 생존성을 높일 수 있다. 또한 기회신호는 이미 구축된 무선통신 또는 무선방송 인프라 신호를 방향탐지 및 무선측위 신호로 사용할 수 있어 무선자원 활용에 대한 효율성이 매우 높다[2].

본 논문은 지향성 안테나를 통해 특정 FM 라디오 송신소의 위치 정보를 도출하고, 이를 활용해 제안된 방향탐지 알고리즘을 성능을 분석한다.

### II. 지향성 안테나 이용 방향탐지

본 연구에서는 지향성 안테나를 기계적으로 회전시키면서 각각의 회전각도별 신호 크기를 측정하고, 가장 큰 신호세기가 수신되는 회전각도를 송신기 방향으로 찾았다. 이 방식은 지향성 안테나를 안테나 폴에 고정시킨 뒤 일정한 속도로 안테나를 회전시키는 방식이며, 빔폭이 좁은 지향

성 안테나 하나와 수신기 하나만으로도 360° 전 범위를 갖는 방향탐지 시스템을 구현할 수 있다. 따라서 초창기 레이더에 광범위하게 보급되었는데, 본 연구는 지향성 안테나를 이용한 방향탐지를 통해 지향성 안테나를 마치 레이더처럼 사용한다는 점이 기존 연구방식과 차별적이다.

그림 1은 실제 지향성 안테나를 통한 FM 라디오 신호를 수집을 위한 실험 환경이다. LoS (Line of Sight) 환경을 확보하기 위해, 숭실대학교 형남공학관 12층에 지향성 안테나를 설치하여 일정한 속도로 지향성 안테나를 회전시키면서 가장 큰 신호 세기가 수신되는 FM 라디오 대역을 수신하여 3개 송신기의 위치를 찾았다. 그 결과 주파수 FM 97.3MHz인 관악산 송신소, 주파수 94.5MHz인 청계산 송신소, 주파수 FM 97.7MHz인 수봉산 송신소의 위치를 확인할 수 있었다.



그림 1. 실제 지향성 안테나를 통한 FM 신호 수집

그림 2는 실제 수집된 FM 라디오 신호에 대한 스펙트럼을 도시한 것이다. 본 논문에서는 스펙트럼 분석을 통해 실제 수신한 신호가 FM 라디오 신호임을 확인하였다. 첫 번째 중심 주파수 측면에서, 그래프에서 보이는 가장 높은 진폭을 보이는 피크는 중심 주파수 주변에서 나타나고 있다.

이는 FM 라디오 신호의 반송파 주파수를 의미한다. 두 번째 대역폭 측면에서, 피크 양쪽에 폭넓게 분포된 에너지는 FM 라디오 신호의 특징인 주파수 번조로 인해 발생한다. 세 번째 대칭성 측면에서, 스펙트럼은 반송파 주파수를 중심으로 대칭적인 모양을 보인다. 결과적으로 여러 측면에서 분석하였을 때, 본 연구에서 지향성 안테나를 통해 수신한 신호를 FM 신호임을 검증하였다.

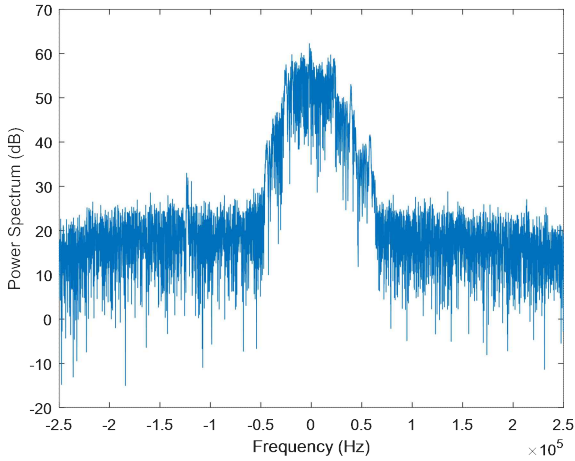


그림 2. 실제 수집한 FM 97.5MHz 신호의 스펙트럼

### III. 제안된 방향탐지 알고리즘

본 논문에서는 3개 FM 라디오 방송국의 송신소 위치 정보를 활용하여 제안된 방향탐지 알고리즘 설계하였다. 그림 3은 제안된 알고리즘의 순서도를 도시하였으며, 총 3단계로 구성하였다. 이 때, 3개 FM 라디오 송신소의 위치 정보 및 UAV 내에 나침반 등을 이용하여 진북 방향 정보는 안다고 가정하였다. 1단계는 3개 송신소의 위치 정보와 UAV에서의 진북 방향 정보를 기반으로 방위각을 계산한다. 2단계는 3개 송신소와 위치 정보와 방위각 정보를 활용하여 교차 위치 (Cross Locating) 기법을 통해 교차점 (Crossing Point)을 구한다[2]. 3단계는 정밀도 향상을 위한 2가지 방안을 제시한다. 이는 2개 송신소에 의해 얻어진 3개 교차점에 대하여 평균값 (Simple Average Localization) 방식 및 중간값 (Median Consensus Localization) 방식이다. 또한 비교의 목적으로, UAV로부터 송신소까지의 거리를 알고 있다고 가정하고 이 거리의 역수로 가중치를 부여하는 (Inverse Distance Weighting Localization) 방식을 역시 고려하였다.

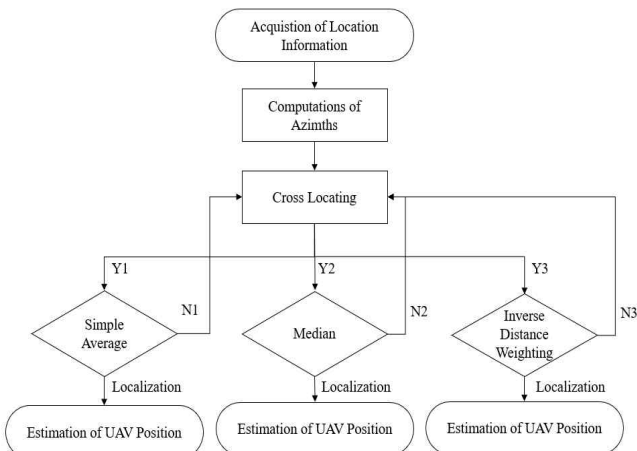


그림 3. 제안된 방향탐지 알고리즘 기반의 측위 순서도

### IV. 모의실험 결과 및 결론

그림 4는 제안된 방향탐지 알고리즘에 대하여  $E_b/N_0$ 에 따른 측위 결과 대한 RMSE (Root Mean Square Error)를 도시한 것이다. 파란색 그래프인 Simple Average Localization 방식은  $E_b/N_0 = 10$  dB에서 측위 오차가 약 200m이며,  $E_b/N_0 = 30$  dB에서는 약 20m이다. 반면 빨간색 그래프인 Median Consensus Localization 방식은  $E_b/N_0 = 10$  dB에서 약 60m,  $E_b/N_0 = 30$  dB에서는 약 6m의 측위 오차가 발생하였다. 참고로, 비교 방식인 노란색 그래프의 Inverse Distance Weighting Localization 방식은  $E_b/N_0 = 10$  dB에서 약 45m,  $E_b/N_0 = 30$  dB는 약 4.5m의 측위 오차가 발생하는 것을 확인하였다.

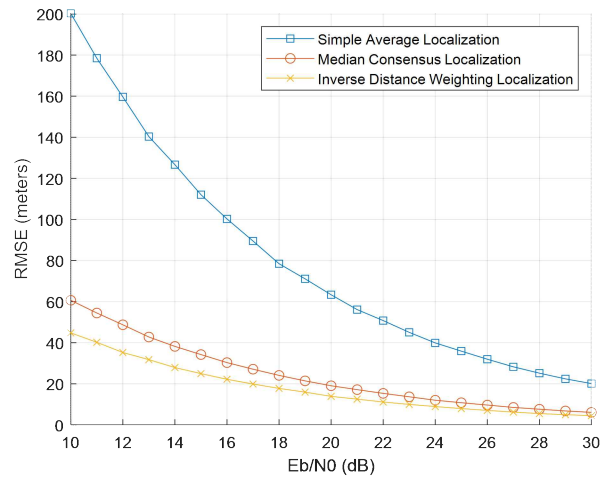


그림 4. 제안된 방향탐지 알고리즘 기반의 측위 성능

### 참고 문헌

- [1] 장병준, “방향탐지기술: 튜토리얼, 최신동향 및 연구전망,” *한국전자과학회논문지*, 제30권, 제8호, pp. 607-617, 2019년 8월.
- [2] J. Xia, Z. Zheng, and W. Zhang, “Research and design of an FM radio transmitter positioning system based on UAV,” *Proc. IEEE ITNEC 2017*, pp. 127-131, Chengdu, China, Dec. 2017.