

# AI 기반 무선신호 탐지 · 분석을 통한 적 통신신호 탐지 및 전장 실시간 가시화 기술 연구

## AI-Based RF Signal Detection and Analysis of Enemy Communication Signals with Real-Time Battlefield Visualization

신승훈\* · 김득화\* · 김정훈\*\*\* · 감민\*\*\*\* · 김성구\* · 정창훈\* · 김현철\*\*\*\*

Seunghoon Shin\* · Deukhwa Kim\* · Junghoon Kim\*\*\* · Min Kam\*\*\*\* ·  
Sunggu Kim\* · Changhoon Jeong\* · Hyunchul Kim\*\*\*\*

### 요 약

본 연구는 드론에 AI 기반 무선 신호 탐지 기능을 탑재하여, 적 신호 장비의 위치를 정밀 추정하고 실시간 시각화할 수 있는 시스템을 제안한다. 개활지 환경에서 수집된 RSSI 데이터를 대상으로 선형회귀, 최적화, ML을 적용한 경로손실 모델링을 수행하고, 추정된 모델로 거리 추정 후 삼변측량으로 위치를 산출한다. 실험 결과, 우수한 위치 추정 성능을 얻을 수 있으며, 드론 기반 실시간 신호 탐지, 위치추정의 실용 가능성을 입증한다.

### Abstract

This study proposes a drone-mounted, AI-based wireless signal detection system that accurately localizes hostile radio emitters and visualizes results in real time. Using RSSI data collected in an open-field environment, path-loss modeling is performed via linear regression, numerical optimization, and machine learning. The resulting models generate range estimates, which are fused with trilateration to determine emitter locations. Experimental results demonstrate high localization accuracy, confirming the practical feasibility of real-time, drone-based signal detection and localization.

Key words: AI-Based RF Localization, Drone Detection System, Machine Learning, Signal Detection, Visualization

### I. 서 론

통신 기술은 현대 전장에서 실시간 상황 인지 및 정밀

타격을 가능하게 하는 핵심 수단으로 자리매김하고 있다. 특히, 전자전 환경에서 정보 우위를 확보하기 위해 RF (radio frequency) 신호의 탐지 및 분석 기술은 전략적으로

「이 연구는 2024년 정부(방위사업청, 국방기술진흥연구소의 방산혁신기업 100 프로젝트 기술개발지원사업)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(R240203).」

\*㈜펀진(Funzin Co., Ltd)

\*\*광운대학교 일반대학원 방산AI로봇융합학과(Department of Defense AI&Robot Convergence, Kwangwoon University Graduate School)

\*\*\*광운대학교 일반대학원 국방AI로봇융합학과(Department of Defense In Industry AI&Robot Convergence, Kwangwoon University Graduate School)

· Manuscript received July 4, 2025 ; Revised July 24, 2025 ; Accepted September 5, 2025. (ID No. 20250704-024S)

· Corresponding Author: Deukhwa Kim (e-mail: shirly@funzin.co.kr)

중요한 역할을 수행한다. 그러나 기존의 RF 탐지 체계는 대형 플랫폼에 의존하는 경향이 있어 기동성과 은밀성이 저하되고, 저출력 및 간헐적으로 발생하는 신호에 대한 탐지 한계가 존재한다<sup>[1]</sup>.

이러한 한계를 극복하기 위해 최근에는 소형 드론 기반의 RF 탐지 시스템이 주목받고 있으며, 여기에 AI(artificial intelligence) 기술을 결합하면 신호 분석의 정밀도와 실시간성이 획기적으로 향상될 수 있다. AI는 복잡한 전자과 환경에서도 은폐된 패턴을 효과적으로 감지하고, 대용량 스펙트럼 데이터를 빠르게 분석하여 실시간 판단을 지원한다<sup>[2]</sup>.

드론은 지형 제약이 적고 분산 배치가 가능하다는 이점을 갖기 때문에, AI 기술과 결합하면 전장 전역에 걸친 분산형 RF 탐지 체계를 구현할 수 있다<sup>[3]</sup>. 특히, RF 신호의 실시간 분석을 통해 위치 추정, 간섭 탐지, 위협 식별 등의 임무를 수행할 수 있으며, 이는 현대 전장에서의 전술적 의사결정에 결정적인 영향을 미친다<sup>[4]</sup>.

본 연구에서는 이러한 배경을 바탕으로, AI 기반 RF 스펙트럼 분석 기술을 드론에 탑재하고, GCS(ground control system)에서 실시간으로 데이터를 수신 및 분석하는 RF 탐지 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 실험환경에서 실증 실험을 통해 그 실용성을 검증하였으며, 위치 추정 정확도 및 탐지 효율성을 중심으로 연구하였다.

## II. 관련 연구

### 2-1 드론 기반 RF 위치 추정

최근 UAV(unmanned aerial vehicle)를 활용한 RSSI(received signal strength indicator) 기반 송신원 위치 추정 연구는 기하학적 모델링과 기계학습 기법을 접목하며 크게 발전해 왔다. Güzey 등은 다수의 드론이 서로 다른 위치에서 수집한 RSSI 데이터의 기하학적 해석을 통해 송신원 좌표를 도출하는 새로운 접근법을 제안하였으며, 실제 실험에서 평균 오차 20 m 이내 성능을 보임으로써 이론적 타당성을 입증하였다<sup>[5]</sup>. Moro 등은 865 MHz와 2.4 GHz 주파수 대역에서 드론을 이용해 실험실 외 실환경 테스트를 수행하며, 특히 도심지와 개활지에서의 다중 경로 효과와 드론 비행 경로(지그재그·나선형)에 따른

RSSI 변화 특성을 상세히 분석하였다<sup>[6]</sup>.

### 2-2 AI 기반 전자전 대응

전장 환경에서는 적의 RF 재밍 및 스푸핑 공격을 신속하게 탐지하고 대응하는 것이 핵심 과제이다. Patel 등은 AI를 적용하여 차량 네트워크 환경에서 발생하는 RF 재밍 시도를 실시간으로 분류·경고하는 프레임워크를 제안하였다<sup>[7]</sup>. 이 연구에서 제안된 시스템은 실제 차량·UAV 연동 실험에서 95 % 이상의 탐지 정확도와 200 ms 이내의 실시간 경보 성능을 보였으나, 고성능 모듈 연산으로 인한 에너지 소모와 학습 데이터의 환경 편향 문제는 향후 해결 과제로 남아 있다.

## III. AI 기반 RF 무선신호 탐지 시스템 설계

본 연구에서는 전장 환경에서 무선 스펙트럼 자원을 할당, 탐지, 관리하는 스펙트럼 통합 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 작전 계획에 따른 무선 자원 요청, 스펙트럼 할당 및 관리를 담당하는 스펙트럼 관리 시스템과 무선 스펙트럼을 수집, 탐지하는 무선신호 탐지 시스템으로 구성된다.

그림 1은 제안하는 UAV 기반 무선신호 탐지 시스템의 시스템 아키텍처와 동작 흐름을 나타낸다. 본 시스템은 RF 센서가 탑재된 드론으로 구성된 데이터 수집 계층, 드론에 탑재된 스펙트럼 분석기와 GCS에 탑재된 신호 탐지 AI 모델로 구성된 데이터 처리 계층, 마찬가지로 GCS에 탑재된 전장 실시간 시각화 체계로 구성된 시각화 계층의 세 계층으로 구성된다.

드론에 탑재된 RF 센서를 통하여 데이터가 수집되고, 드론은 주변에서 발생하는 적 장비의 전자파를 탐지하고, 동시에 자신의 위치 좌표 및 운용 상태 정보를 함께 기록한다. 수집된 신호를 드론 내 스펙트럼 분석기를 통해 1차 분석하며, 분석 결과와 함께 원시 신호 정보, 상태 정보는 내장된 통신 모듈을 통해 GCS로 전송된다.

GCS에서는 전처리된 데이터를 스펙트럼 관리 DB(database) 정보를 기반으로 예상 신호 레벨을 초과하는 신호를 이상 신호로 추정한다.

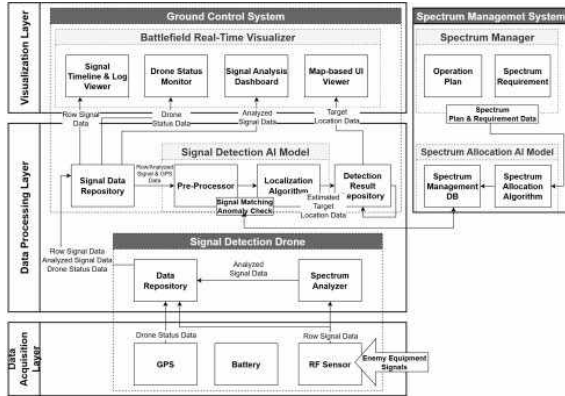


그림 1. 인공지능 탐지기술이 적용된 분산형 드론 기반 신호정보 시스템 동작 프레임워크

Fig. 1. Operational framework for a distributed drone-based signal intelligence system with integrated ai detection technology.

이상 신호로 추정되는 경우, 적 신호 장비의 위치를 추정하고, 그림 2와 같이 실시간으로 시각화된다. 이처럼 탐지, 분석, 시각화로 이어지는 전체 절차가 실시간으로 연계됨으로써, 본 시스템은 전장 상황 인식의 정확도를 높이고, 지휘관의 신속한 판단과 효과적인 대응을 지원할 수 있다.

#### IV. 실증 실험 및 결과 분석

##### 4.1 실험 개요

본 연구는 전장 환경에서의 무선 신호 기반 위치 추정

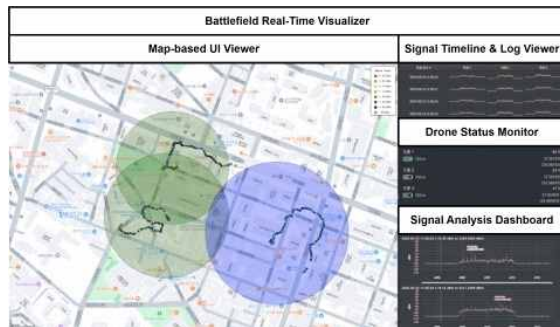


그림 2. 전장 실시간 시각화 체계를 통한 전장 상황 실시간 시각화 인터페이스 구성 예시

Fig. 2. Example interface configuration for real-time battlefield visualization system.

시스템 구현 가능성을 실증을 통하여 평가하였다. 실험의 핵심 목적은 드론 탐지 장치를 통해 수집한 RSSI 데이터를 기반으로 신호원의 위치를 정확히 추정할 수 있는지를 확인하고, 수집된 데이터의 학습 활용 가능성과 품질을 검증하는데 있다.

- 신호 발생원으로는 MANET(mobile ad-hoc network) 단말기를 활용하였으며, 이 장비는 2210 MHz 중심 주파수로 설정된 일정 세기의 RF 신호를 지속적으로 송출하였다.
- 실험은 LOS(line of sight) 환경에서의 측정을 위해 포천 한탄강 드론 자유화 구역 개활지에서 수행되었으며, 공중 유사환경 조성하에 RF 스펙트럼 분석기를 활용하여 실험이 진행되었다. 수신 측인 드론 탑재 스펙트럼 분석기는 다양한 측정 위치에서 신호를 수집하였다. 수신된 RSSI로부터 송신기와의 거리  $d$ 를 계산하기 위해 식 (1)의 경로 손실 모델을 사용한다.

$$RSSI(d) = A - 10n \log_{10}(d) \quad (1)$$

여기서  $A$ 는 1 m에서의 수신 전력(dBm),  $n$ 은 경로손실 지수이다.

신호원 위치는 세 개 이상의 앵커로부터 추정된 거리  $d_i$ 를 이용해 삼변측량(trilateration)으로 계산한다.

본 연구는 서로 다른 특징을 갖는 여러 기법으로 경로 손실 계수 ( $A, n$ )를 추정한 뒤, 추정 모델을 이용해 신호원의 위치를 계산하고 성능을 비교한다.

- LR(log-regression): 식 (1)을 로그-거리 모델을 선형 회귀로 적용하여 단일 경로계수 ( $A, n$ )를 추정한다.
- NM(nelder-mead 최적화): 단일 모델의 상한(reference) 성능을 확인하기 위해, 평가 데이터를 기반으로 앵커 수  $k$ 별로 위치 오차를 최소화하는 ( $A_k, n_k$ )를 nelder-mead로 직접 탐색한다<sup>[7]</sup>.
- SegDT(decision tree 기반 세그멘테이션): 학습 데이터에서 거리  $d$ 를 설명변수, RSSI를 종속변수로 하는 회귀트리를 학습해 거리 구간별 분할 경계를 생성하고, 각 구간  $s$ 에 대해 ( $A_s, n_s$ )를 추정하여 다중 경사(multi-slope) 모델을 구성한다.
- SegDT-geo(기하학적 최적화 결합): 평가 시 동일 후보 앵커 조합들 가운데 GDOP(geometric dilution

of precision)를 최소화하는 구성을 선택하고, 선택된 앵커셋에 SegDT의 구간별 ( $A_s, n_s$ )을 적용해 삼변측량으로 위치를 추정한다. GDOP은 앵커 기하학적 안정성을 나타내는 지표로, 값이 작을수록 위치 오차에 유리하다<sup>8)</sup>.

경로손실 계수( $A, n$ ) 추정 및 위치 추정 성능 평가는 두 단계로 진행하였다. ① 고정 지점에서 거리별 RSSI를 수집하여 각 기법의 ( $A, n$ ) 학습에 사용하고, ② 신호원의 위치를 변경하고 신호 탐지기를 이동시키며 수집한 평가 데이터로 위치 추정 성능을 비교하였다. 비교 실험에서는 동일한 시나리오에서 각 기법이 동일한 앵커 수  $k$ 와 동일한 후보군을 공유하도록 구성했으며, SegDT-geo만 후보군 중 GDOP 최소 조합을 선택한다는 점만 다르다.

#### 4.2 실험 결과 및 분석

실측 RSSI 데이터 셋을 사용하여 LR, NM, SegDT, SegDT-geo로 ( $A, n$ )을 추정하고, 앵커 수  $k$ 에 따른 삼변측량 기반 위치 추정 성능을 그림 3에 제시하였다. 모든 방법에서  $k$ 가 증가할수록 평균 위치 오차(mean)와 표준편차(Std.)가 감소했다. 특히  $k \geq 5$ 에서는 평균 오차가 10 m 내외로 위치를 추정할 수 있다.

- SegDT:  $k=5$ 에서 Mean=9.15 m로 단일모델(LR, NM) 대비 우수했다. 임의 앵커 조합에도 즉시 적용 가능해

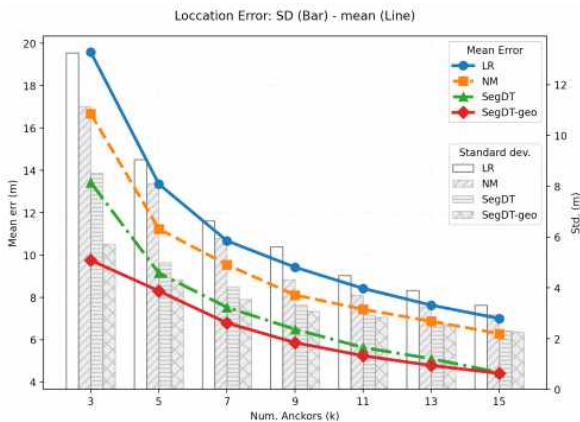


그림 3. 경로손실 모델 추정 방법별 위치 추정 오차 결과  
Fig. 3. Comparison of localization errors based on path loss model estimation approaches.

실시간 추정에 유리하다.

- SegDT-geo: 작은  $k$ 에서 효과가 두드러져  $k=3$ 만으로 Mean=9.75 m를 달성했으며, 이는 LR 대비 약 50 % (19.58 → 9.75 m), SegDT 대비 약 27 %의 상대 개선이다. Std.도 크게 축소되어 결과 분산이 감소한다.

#### 4.3 향후 연구 및 실험 설계

다양한 전장 환경에서 정밀한 위치 추정과 신호 분석을 위하여 딥러닝, 핑거프린팅 기법을 포함하여 고도화된 알고리즘과 실시간 연산을 위한 최적화를 진행하고 있다. 이를 위하여 다양한 환경에 대한 데이터 확보와 학습 과정을 거쳐 위치 추정 알고리즘을 고도화할 계획이다.

- 다양한 환경에 대한 채널 모델: 전파 환경이 상이한 상황에서는 경로손실 특성이 다르기 때문에, 환경 변화에 맞는 경로손실을 반영하여 위치를 추정하여야 한다. 본 제안 시스템에서는 초기 드론과 GCS 간 통신 채널에 대한 수신 신호 데이터를 활용하여 경로손실 모델을 선택하기 위한 데이터로 활용하여, 환경 변화에 빠르게 대응할 수 있도록 할 계획이다.
- 데이터 부족 및 일관성 문제: 다양한 환경에서 측정과 데이터 수집 작업은 많은 시간과 노력이 요구되며, 측정 환경 등의 실험 조건의 일관성 부족 등으로 양질의 데이터를 확보하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 물리 제약 사항을 반영하여 데이터 부족한 영역에 대한 보정과 모델의 일반화 성능을 개선할 계획이다.

### V. 결 론

본 연구는 AI 기반 무선신호 수집·분석을 통해 적 통신신호 탐지 및 전장 실시간 가시화 기술을 제안하고, 실증 실험을 통해 가능성을 확인하였다.

본 제안 시스템은 스펙트럼 자원의 요청·할당·관리를 수행하는 스펙트럼 관리 시스템과 이상 신호를 수집·탐지하는 무선 신호 탐지 시스템으로 구성된다. 무선신호 탐지 시스템은 드론 기반 RF 센서, 스펙트럼 분석기, 위치 추정용 AI 모델, 실시간 시각화 모듈로 이루어져 전장 상황 인식의 정밀도와 신속성을 크게 향상시킨다.

실험을 통해 RSSI 기반의 실측 데이터를 확보하고, 이를 바탕으로 ML 기법을 활용한 경로 손실 모델링 및 삼변측량을 수행하여 우수한 위치 추정 성능을 검증하였다.

향후 연구에서는 AI 모델과 알고리즘을 고도화하여 다양한 환경에서도 정밀한 위치 추정이 가능하도록 최적화함으로써, 실제 운용 환경에서의 적용성과 성능을 한층 더 강화할 예정이다.

### References

[1] P. Sharma, K. K. Sarma, and N. E. Mastorakis, "Artificial intelligence aided electronic warfare systems-Recent trends and evolving applications," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 224761-224780, 2020.

[2] W. A. G. Khawaja, M. Ezuma, V. Semkin, F. Erden, O. Ozdemir, and I. Guvenc, "A survey on detection, classification, and tracking of aerial threats using radar and communications systems," *TechRxiv*, to be published. doi: 10.36227/techrxiv.170629593.30210818/v1

[3] K. Patel, D. Thakkar, R. Gupta, N. K. Jadav, S. Tanwar, and D. Garg, "XAI-based RF jamming detection framework for vehicular networks in battlefield environment," in *Proceedings of the 2024 5th International Conference for*

*Emerging Technology (INCET)*, Belagavi, May 2024.

[4] D. Chauhan, H. Kagathara, H. Mewada, S. Patel, S. Kavaiya, and G. Barb, "Nation's defense: A comprehensive review of anti-drone systems and strategies," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 53476-53505, Mar. 2025.

[5] N. Güzey, "RF Source localization using multiple UAVs through a novel geometrical RSSI approach," *Drones*, vol. 6, no. 12, p. 417, Dec. 2022.

[6] S. Moro, V. Teeda, D. Scazzoli, L. Reggiani, and M. Magarini, "Experimental UAV-aided RSSI localization of a ground RF emitter in 865 MHz and 2.4 GHz bands," in *2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference (VTC2022-Spring)*, Helsinki, Jun. 2022.

[7] H. J. Hassan, A. M. Mahmood, "Optimization of wildfire localization using a trilateration-based nelder-mead algorithm in a wireless sensor network," *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, vol. 10, no. 4, pp. 1377-1384, Aug. 2023.

[8] A. D. Ramadhani, P. Kristalina, and A. Sudarsono, "A weighted geometric dilution of precision-based method for indoor positioning system," *Journal of Communications*, vol. 15, no. 1, pp. 65-73, Jan. 2020.

신 승 훈 [㈜편진/전무]

<https://orcid.org/0009-0009-6391-9165>



2003년 2월: 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)  
 2021년: SK텔레시스  
 2022년: 팬택씨앤아이엔지니어링  
 2024년: 스마트란  
 2024년 9월~현재: (주)편진 전무  
 [주 관심분야] RF, 이동통신공학, 영상AI,

군집운용 AI

김 득 화 [㈜편진/대표이사]

<https://orcid.org/0009-0006-5197-1247>



1996년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)  
 2000년 2월: SK텔레콤 대리  
 2002년 11월: 윌텍정보통신 과장  
 2010년 1월: SK텔레시스 부장  
 2010년 7월~현재: (주)편진 대표이사  
 [주 관심분야] RF, 이동통신공학, 영상AI,

군집운용 AI

김 정 훈 [㈜편진/사장]

<https://orcid.org/0009-0005-2433-996X>



1999년: LG전자 서비스  
2003년: 윌텍정보통신  
2005년: 햄팩스  
2024년 9월~현재: 광운대학교 일반대학원 방산AI로봇융합학과 석사과정  
2006년 6월~현재: (주)편진 사장  
[주 관심분야] RF, 이동통신공학, 영상AI,

군집운용 AI

정 창 훈 [㈜편진/상무]

<https://orcid.org/0009-0000-6186-7837>



1998년 2월: 아주대학교 정보컴퓨터공학과 (공학사)  
1999년 4월: 사공이랩(주)  
2005년 3월: (주)팜스텍  
2008년 8월: 제주씨앤씨(주)  
2011년 1월~현재: (주)편진 상무  
[주 관심분야] RF, 유무선 통신, 이동통신,

AI플랫폼설계

감 민 [㈜편진/상무]

<https://orcid.org/0009-0004-8248-1406>



2025년 3월~현재: 광운대학교 일반대학원 국방AI로봇융합학과 석사과정  
2012년 4월~현재: (주)편진 상무  
[주 관심분야] 무선 네트워크 최적화, 주파수 관리, 통신 시스템 빅데이터 분석

김 현 철 [㈜편진/부장]

<https://orcid.org/0009-0007-4025-993X>



2022년 4월: 대한민국 공군  
2025년 3월~현재: 광운대학교 일반대학원 국방AI로봇융합학과 석사과정  
2023년 03월~현재: (주)편진 부장  
[주 관심분야] RF Spectrum, 방위산업, 국방AI

김 성 구 [㈜편진/상무]

<https://orcid.org/0009-0005-8038-3295>



1999년 2월: 부경대학교 정밀기계공학과 졸업 (공학사)  
2002년 7월: 넥스트에듀정보통신  
2003년 9월: 지파  
2004년 4월: 씨앤비텍  
2006년 11월: 넥스트에듀닷컴  
2006년 12월~현재: (주)편진 상무

[주 관심분야] RF, 유무선 통신, 국방AI, AI알고리즘설계