

# 저가의 다중 SDR을 이용한 실시간 광대역 드론 전파신호 모니터링

## Real-Time Broadband Drone RF Signal Monitoring Using Low-Cost Multi-SDRs

한수민 · 이지성 · 조정민 · 황건우 · 장병준

Sumin Han · Ji-Sung Lee · Jung-Min Cho · GeonU Hwang · Byung-Jun Jang

### 요 약

RF 스캐너 방식의 안티드론 시스템을 구현하려면 시간에 따라 빠르게 변하는 광대역의 드론 전파신호를 실시간으로 수집할 수 있는 고가의 광대역 수신기가 필요하다. 본 연구에서는 고가의 광대역 수신기 대신 저가의 협대역 SDR 장비를 다수 활용하여 광대역 드론 전파신호의 스펙트로그램 영상을 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 python 언어로 구동되는 Adalm Pluto SDR 3대로 구성되며, 2.4 GHz ISM 주파수 대역 전체의 드론 전파신호의 스펙트로그램을 일반적인 PC 환경에서 실시간으로 모니터링할 수 있다. 실제 4종류의 상용 드론을 운영하여 발생하는 드론 전파신호를 전자파 무반향실에서 측정하여 구현된 시스템의 성능을 검증하였다. 구현된 수신기는 python 언어 기반의 AI 엔진과 결합한다면 실시간 안티드론 시스템을 저가로 구현하는 것이 가능하다.

### Abstract

Implementing an RF scanner-type anti-drone system requires an expensive broadband receiver that collects real-time broadband drone RF signals, which change rapidly over time. In this study, we implemented a system that can monitor the spectrogram image of a wideband drone radio signal in real time using low-cost narrowband SDR equipment instead of an expensive wideband receiver. The implemented system, comprising three Adalm Pluto SDRs running in python, can monitor the spectrogram of drone RF signals in the entire 2.4 GHz ISM frequency band in real time in a typical PC environment. The performance of the implemented system was verified by measuring the RF signals generated by four types of commercial drones in an electromagnetic anechoic chamber. Combining the implemented receiver with an AI engine based on python provides the possibility of implementing a real-time anti-drone system at a low cost.

Key words: RF Scanner, Anti-Drone, SDR, Spectrum Sensing, Spectrogram

### I. 서 론

최근 몇 년 동안 드론 기술의 발전으로 드론의 활용 범위가 군사, 레저, 농업, 건설, 교통, 운송업 등 다양한 분야

로 확장되고 있다. 하지만 드론의 사용이 증가하면서 불법 드론과 관련된 보안 문제 역시 증가하고 있다. 이러한 문제에 대응하기 위해서 다양한 안티드론 시스템이 필요해지고 있다<sup>[1]</sup>. 안티드론 시스템이란 소리<sup>[2]</sup>, 영상<sup>[3]</sup>, 레이

「이 연구는 2018년도 삼성전자 미래기술육성센터 연구비(SRFC-IT1801-51)의 지원으로 연구되었음.」

국민대학교 전자공학부(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received February 13, 2024 ; Revised March 22, 2024 ; Accepted April 12, 2024. (ID No. 20240213-001S)

· Corresponding Author: Byung-Jun Jang (e-mail: bjjang@kookmin.ac.kr)

다<sup>[4]</sup> 등의 다양한 방법으로 드론을 탐지, 식별, 무력화하는 시스템을 의미한다. 예를 들어, 소리 기반의 안티드론 시스템은 드론의 프로펠러 소리를 탐지하고, 카메라 기반의 드론 탐지 기술은 고해상도 카메라를 통해 드론을 탐지하게 된다. 하지만, 소리를 이용할 경우 먼 거리에서는 소리가 작아져 탐지가 어렵고, 카메라는 새와 드론을 구별하는 데 어려움을 겪는 단점이 있다. 반면 레이더 기반의 안티드론 시스템은 출력만 허용된다면 먼 거리의 드론을 탐지할 수 있고, 날씨의 영향을 받지 않는 장점이 있다. 하지만 고출력 전파를 송신하기 위한 주파수 허가가 필요하고, 가격이 비쌀 뿐만 아니라, 소형 드론의 경우 탐지하는 데 어려움이 있다.

이에 따라 최근 드론에서 방사되는 RF(radio frequency) 신호를 이용하여 불법 드론을 탐지하는 RF 스캐너 방식의 안티드론 시스템이 가장 활발하게 연구되고 있다. RF 스캐너 방식의 안티드론 시스템은 드론에서 방사되는 전파신호를 수신한 후, 전파신호의 시간-주파수 패턴을 분석하여 불법 드론을 탐지하는 기술을 의미한다. 특히, 대부분의 상용 드론의 통신이 2.4 GHz와 5 GHz의 ISM(industrial, scientific, and medical) 주파수 대역을 사용하고, 드론의 전파신호는 드론의 제조사와 종류마다 그 특성이 고유하게 존재하므로 이를 분석함으로써 대부분의 불법 드론을 식별하고 추적할 수 있다. 특히, 인공지능(AI: artificial intelligence) 기술의 발전으로 시간과 주파수 측면에서 드론 전파 신호의 패턴만 수집할 수 있다면 드론 별 패턴의 특성 차이를 이용하여 드론의 종류를 매우 정확하게 식별할 수 있어 더욱 주목받고 있다. 또한, 수신기만 존재하므로 주파수 허가가 필요 없고, 드론이 눈에 보이지 않는 비가시선(NLoS, non line-of-sight) 상황에서도 먼 거리의 드론 전파 신호를 분석할 수 있다는 장점으로 그 사용 범위가 더욱 늘어나고 있다<sup>[5]~[7]</sup>.

이러한 RF 스캐너 방식의 안티드론 시스템에서 전파 수신기는 드론이 사용되는 주파수 대역 전체의 특성을 실시간으로 수집하고, AI 엔진에 신호의 시간-주파수 패턴, 즉 스펙트로그램(spectrogram)을 실시간으로 제공하는 기능을 가져야 한다. 예를 들어 2.4 GHz ISM 대역을 사용하는 드론이 있다면 83.5 MHz 대역폭 전체에서 패턴 변화를 실시간으로 모니터링할 수 있어야 한다. 또한 2.4

GHz와 5.8 GHz를 동시에 사용하는 드론이라면 주파수를 변경하면서 신호를 분석할 수 있어야 한다. 따라서 주파수를 가변할 수 있는 SDR(software-defined radio) 기반의 수신기가 필요하다. SDR은 하드웨어 변경 없이 다양한 주파수 대역을 수신할 수 있는 장점이 있다. 그럼에도 불구하고 SDR은 한 번에 분석할 수 있는 대역폭이 높으면 높을수록 가격이 기하급수적으로 증가하는 문제가 있다. 예를 들어 수만 원대의 RTL-SDR은 수 MHz 대역만을, 수십만 원대의 Adalm Pluto는 최대 30 MHz의 대역폭만을 분석할 수 있다. 2.4 GHz의 83.5 MHz를 한 번에 수신할 수 있는 N310과 같은 SDR은 수천만 원 이상의 가격을 가지므로 드론 신호 분석 장비를 하나의 SDR로만 구성하는 것은 가격적으로 문제가 있다.

이에 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 저렴한 다중 SDR 기반의 드론 신호 수신기를 구현하였다. 구현된 시스템은 낮은 대역폭 성능을 갖는 저가의 SDR을 다수 활용하여 넓은 대역폭을 갖는 드론의 전파 신호의 스펙트로그램을 실시간으로 모니터링할 수 있다. 또한 python 언어를 이용하여 실시간 스펙트로그램을 생성함으로써 대부분 python 기반으로 구성되는 AI 알고리즘과 쉽게 연동할 수 있도록 하였다. 구현된 시스템을 검증하기 위해 4 종류의 상용 드론을 선정하여 구현된 시스템이 실시간으로 2.4 GHz 대역 전체의 드론 전파신호를 수신할 수 있음을 증명하였다. 본 연구는 향후 안티드론 시스템의 대중화에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문의 구성은 II장에서 드론 전파신호의 특성을 설명하고, 이러한 드론 전파신호를 분석하기 위한 RF 스캐너의 요구사항을 설명한다. III장에서는 본 연구에서 구현된 시스템의 구성 및 동작 원리를 설명한다. IV장에서 실제 드론을 이용하여 무반향실에서 측정한 실험 결과를 제시하고, V장에서 결론을 맺도록 한다.

## II. 드론 전파신호 특성과 RF 스캐너 요구사항

### 2-1 드론의 RF 신호의 특성

드론의 안정적인 운용과 효과적인 제어를 위해서는 드론과 원격 조종기(controller) 간의 지속적이고 안정적인 통신이 필수적이다. 이러한 드론 통신은 두 가지 링크인

상향 링크(uplink)와 하향 링크(downlink)로 구성된다. 상향 링크는 드론 원격 조종기에서부터 드론으로 제어 신호를 전송하는 경로로 드론의 조작과 제어에 필수적이다. 하향 링크는 드론으로부터 조종기 방향으로 영상 정보 및 텔레메트리(telemetry) 데이터를 전송하는 데 사용된다<sup>[8]</sup>. RF 스캐너 방식의 안티드론 시스템은 RF 스캐너가 설치된 건물이나 지역에 접근하는 드론에서 송신하는 신호인 하향 링크 신호를 탐지하는 것이 목적이다.

보통의 상용 드론은 2.4 GHz나 5.8 GHz의 ISM 대역을 사용하는데, Wi-Fi 등의 타 무선기기와의 주파수 간섭을 극복하면서도 드론에서 요구되는 제어, 텔레메트리, 영상 전송의 기능을 동시에 달성하기 위해 제조사별로 고유한 비표준 방식을 사용한다. 현재 상용화된 대표적인 드론 제조사의 드론 통신을 비교한 결과가 표 1에 나와 있다. 예를 들어 영상기능이 없고 Futaba 조종기를 사용하는 S500 드론의 경우, 상향 링크의 제어신호와 하향 링크의 텔레메트리를 위해서 주파수 도약 대역 확산(FHSS, frequency hopping spread spectrum) 방식을 사용한다. FHSS는 통신 중에 여러 독립적인 채널을 사용하여 주파수를 지속적으로 변경함으로써 간섭을 피하고, 높은 보안성을 제공한다. 한편, 촬영 기능을 가진 최신 드론은 텔레메트리 신호 외에도 드론에서 촬영한 대용량 영상 데이터의 신속한 전송이 필요하다. 따라서 세계 최대 드론 기업인 DJI의 경우 OcuSync와 Lightbridge 방식의 자체 제작한 드론 통신 프로토콜을 사용하는데, 제어신호는 FHSS 방식을 사용하고, 영상 정보와 텔레메트리를 위해서는 넓은 대역폭을 필요로 하므로 OFDM(orthogonal frequency

division multiplexing) 방식을 사용한다. Parrot ANAFI 드론의 경우, FHSS 없이 Wi-Fi와 유사한 OFDM 방식의 통신만을 이용한다. 이와 같이 드론의 통신 기술은 각기 다른 제조사와 기기의 스펙마다 고유한 주파수 대역과 프로토콜을 사용하므로 인해 고유한 RF 특성을 갖게 된다<sup>[9]</sup>.

## 2.2 드론 RF 스캐너 요구사항

표 1과 같이 다양한 형태의 주파수와 프로토콜을 사용하는 드론을 RF 스캐너로 식별하기 위해서는 먼저 드론이 사용하는 주파수 대역 전체를 모니터링할 수 있어야 한다. 특히, 대부분의 드론이 2.4 GHz ISM 주파수 대역을 사용하고 있으나, 2.4 GHz 대역 중 어느 부분을 사용하는지는 사전에 알 수 없기 때문에 2.4 GHz 대역 전체인 240 MHz에서부터 2.4835 GHz의 83.5 MHz 대역폭을 실시간으로 모니터링할 수 있어야 한다. 하지만 수신기는 한 번에 분석할 수 있는 대역폭이 높으면 높을수록 그 가격이 비싸다. 예를 들어 Ettus사의 USRP N310 SDR 수신기의 경우, 채널당 100 MHz의 대역폭을 갖는 4개의 수신기가 있으므로 2.4 GHz 대역 전체를 한 번에 처리하는 것이 가능하지만, 그 가격이 수천만 원에 달한다.

다음으로 RF 스캐너에서 패턴 인식 등의 AI 알고리즘으로 드론의 존재 여부와 드론의 종류, 불법 여부를 탐지하기 위해서는 드론의 전파신호를 사진이나 영상으로 변환해야 하는데, 드론의 전파신호 자체는 데이터양이 매우 많으므로 전처리를 통해 대폭 축소할 필요가 있다. 예를 들어 SDR은 통과대역 RF 신호를 기저대역으로 변환하여 동위상(In-Phase) I 신호와 직교위상(quadrature-phase) Q 신호의 복소수 신호를 생성하게 되는데, 만약 2.4 GHz 주파수 대역의 90 MHz 대역폭 전체를 SDR로 한 번에 수신하기 위해서 90 MHz의 샘플링 속도를 설정하게 되면 약 720 MB/s의 IQ 스트림이 생성되게 된다. 드론 신호 분석을 위해서는 수십 초 이상의 데이터를 저장해야 하는데, 이러한 막대한 양의 데이터는 저장하기도 어렵고, 실시간으로 처리하기도 일반적인 PC 환경에서는 불가능하다. 따라서 RF 스캐너는 수신된 데이터의 크기를 전처리를 통해서 축소해야 한다.

마지막으로 현재 대부분의 불법 드론을 식별할 수 있는 AI 알고리즘은 python 언어로 구현되므로 SDR 제어,

표 1. 대표적인 상용 드론의 통신 기술 방식 비교

Table 1. Comparison of drone communication (protocol and frequency band) for commercial drones.

	Control signal	Video signal
DJI Mavic Air 2	OcuSync (FHSS) @ 2.4 GHz	OcuSync (OFDM) @ 2.4/5.8 GHz
DJI Phantom 4 pro v 2.0	Lightbridge (FHSS) @ 2.4 GHz	Lightbridge (OFDM) @ 2.4 GHz
Parrot ANAFI	WLANOFDM)@ 2.4/5.2/5.8 GHz	WiFi(OFDM)@ 2.4/5.2/5.8 GHz
S500	FHSS@2.4GHz	-

데이터 처리 등의 전처리 과정을 python 언어로 처리할 필요가 있다.

### III 드론 전파신호 수신기 설계

II장에서 드론 통신의 특성과 드론 전파신호를 분석할 수 있는 RF 스캐너의 요구사항을 살펴보았다. 이러한 RF 스캐너의 요구사항을 만족하기 위해서 본 연구에서는 교육용으로 많이 사용하는 저가의 Adalm Pluto SDR을 이용한 드론 탐지 시스템을 그림 1과 같이 제안하였다. Adalm Pluto SDR은 측정가능한 최고 주파수가 3.8 GHz이고, 최대 대역폭이 30 MHz에 불과하므로 그림 1과 같이 3개의 Adalm Pluto의 중심주파수를 각각 2.415 GHz, 2.445 GHz, 및 2.475 GHz로 선정하였다. Adalm Pluto SDR들은 USB

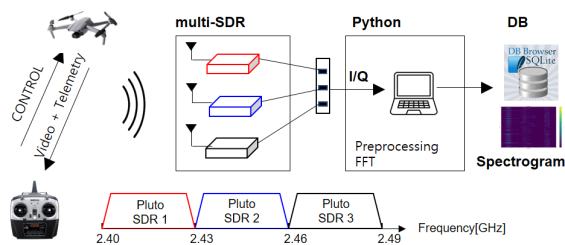


그림 1. 제안한 다중 SDR 기반 드론 RF 스캐너 구조

Fig. 1. Suggested drone RF scanner architecture using multi-SDR.

허브를 거쳐 노트북과 USB로 연결되며, 기저대역 I/Q 데이터를 노트북 PC로 송신한다. 이런 구조를 통해 2.4 GHz 주파수 대역 전체를 한 번에 수신할 수 있도록 하였다. 각각의 SDR의 I/Q 복소수 신호는 PC로 전송되어 python 언어로 만들어진 GNU Radio 소프트웨어에서 데이터 전처리 과정을 거친 후 스펙트로그램이 생성되게 된다.

구체적인 동작은 다음과 같다. 먼저, 각각의 SDR은 리눅스 OS 기반 펌웨어(firmware)를 사용하여 IP 주소를 통해 PC에서 인식된다. 이를 위해 3개의 SDR의 펌웨어는 각각 별개의 IP 주소를 할당하는 작업을 수행하고, USB 인터페이스의 이더넷 모드를 사용해 PC와 연결된다. SDR에서 출력되는 데이터는 인터넷 프로토콜인 TCP (transmission control protocol)가 아닌 UDP(user datagram protocol) 프로토콜로 PC의 네트워크 버퍼로 전송된다. 해당 데이터의 실시간 처리는 GNU Radio 환경에서 구현된 소프트웨어 애플리케이션을 사용하여 수행된다. GNU Radio는 python 기반의 오픈소스 디지털 신호처리 툴로, C++ 기반으로 고속 신호 처리 능력을 보유하고 있으며, 사용자 친화적인 인터페이스와 신호처리 블록으로 Filtering, FFT, Demodulation 기능을 지원한다. 네트워크 버퍼에 저장된 IQ 데이터는 GNU Radio의 스케줄러에 의해 관리된다.

그림 2는 GNU Radio에서 구성된 SDR의 데이터처리

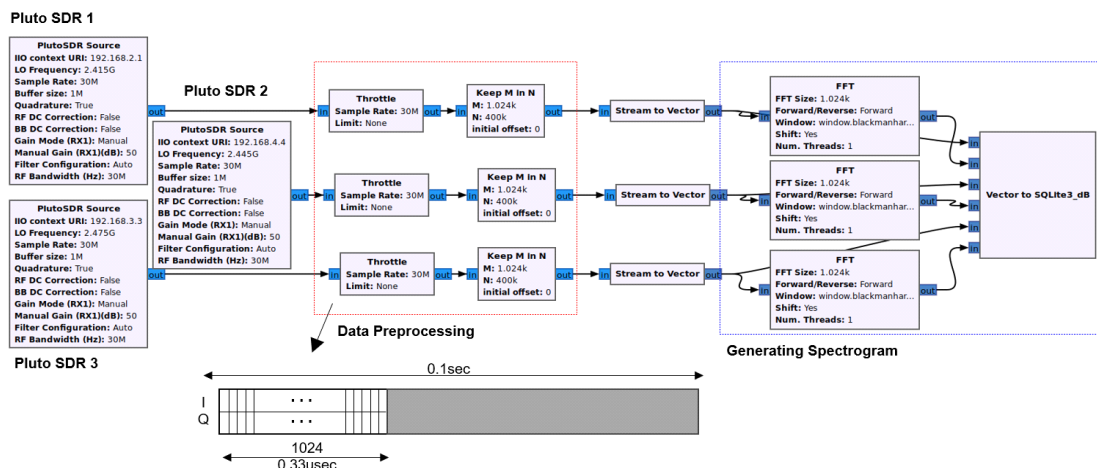


그림 2. GNU radio의 SDR 데이터 처리과정의 블록도

Fig. 2. Block diagram of GNU radio's SDR data processing process.

과정을 보여준다. 그림에서 각각의 SDR 장비를 제어하는 블록, SDR에서 출력되는 I와 Q 신호를 전처리하는 과정 및 스펙트로그램을 생성하는 블록을 볼 수 있다. 노트북 PC에서 과부하 없이 동작하기 위해, I/Q 데이터 스트림은 Throttle을 거치게 되며, 'Keep M in N' 블록을 통해 선택적으로 데이터를 필터링하게 된다. 이 과정을 통해 스펙트로그램에서 필요로 하는 I/Q 데이터만이 추출되어 저장되게 된다. 본 연구에서는 그림 2에서 보는 바와 같이 0.1초의 데이터 중 앞부분의 1,024개의 데이터만을 통과하게 하고, 나머지는 버리도록 하였다. UDP 데이터의 전송 방식을 사용하므로 네트워크 버퍼의 용량을 초과하는 데이터는 손실되는 원리를 이용하였다. 따라서 시스템은 매초마다 총 30,720개의 데이터만을 처리하되, 그 이상의 데이터는 자연적으로 제외된다. 이후의 필터링된 데이터는 스트림 형태에서 벡터 형식으로 변환 후 데이터베이스(DB)에 저장되게 된다.

벡터화된 IQ 신호는 GNU Radio의 FFT 블록을 통해 주파수 도메인으로 변환되며, Blackman-Harris 윈도우 함수를 사용하여 주파수 해상도를 향상시키고, 부엽(sidelobe)을 억제하였다. FFT 사이즈는 1,024이며, 주파수 분해능은 약 3 kHz를 갖게 된다. 변환된 신호는 각 주파수 포인트에서의 전력량을 계산하여 relative power spectrum density [dB/Hz]로 표현된다. 이 데이터는 SQLite3 데이터베이스에 저장되어 후속 분석을 위해 활용될 수 있도록 하였다. 또한, 본 연구에서 구현된 시스템은 python의 matplotlib 라이브러리를 이용하여 실시간으로 RF 신호를 모니터링 할 수 있다. 이를 통해 ISM 2.4 GHz 대역 내에서의 드론 RF 신호를 실시간으로 관찰하고 분석할 수 있다.

#### IV. 측정 환경 및 결과 분석

구현된 드론 전파신호 분석 시스템의 성능을 검증하기 위해서 용산에 있는 전파 플레이그라운드에서 실제 상용 드론을 이용하여 실험을 수행하였다. 용산의 전파 플레이그라운드는 크기가 29.3 m×15.4 m×10 m인 대형 전자파 차폐 시설로 측정 주파수 대역에서 최대 100 dB의 차폐 성능과 -38 dB의 흡수율을 제공함으로써, 미세한 오차 마진 내에서 측정이 가능하다<sup>[10],[11]</sup>. 본 연구에서는 표 1

에 제시한 대표적인 상용 드론 4가지(교육용 S500 드론, DJI사 Phantom 4 Pro v2.0와 Mavic Air 2, 그리고 Parrot사의 ANAFI 드론)를 이용하였다. 측정을 위해 그림 3과 같이 광대역 옴니-디렉셔널 안테나와 3대의 Adalm Pluto SDR 장비, 그리고 노트북이 사용되었다.

드론의 RF 신호 분포를 분석하기 위하여, 2.4 GHz에서 2.49 GHz에 이르는 90 MHz의 대역폭이 측정되었다. 주파수 분해능은 약 3 kHz이며, 각 측정 주기는 0.1초로 설정되었다. 이는 실제 드론의 주파수 호핑 속도에 비해 상대적으로 긴 측정 주기를 가지므로 정확한 주파수 호핑 패턴을 탐지하지는 못하지만, 실시간 모니터링을 통해 드론 RF 신호의 특징을 관찰할 수 있었다. 측정 과정에서 얻어진 IQ 데이터는 실시간으로 FFT(고속 푸리에 변환) 처리되어 SQLite3 데이터베이스에 원본 신호와 함께 저장될 뿐만 아니라, matplotlib 라이브러리를 활용하여 그림 4와 같이 실시간으로 주파수 대역을 시각화됨을 확인하였다. 실험에 사용된 DJI Phantom 4, DJI Mavic Air 2는 OFDM 영상채널과 함께 FHSS 제어채널을 사용함을 관찰할 수 있었다. Parrot Anafi 드론은 OFDM만을 사용함을 관찰할 수 있었으며, S500 드론의 FHSS를 이용하는 제어 신호 패턴을 확인할 수 있었다. 그림 4에서 SDR별로 안테나 위치가 조금씩 다르므로 주파수 경계에서 크기의 변화가 관찰되었으나, 이는 하나의 안테나를 사용하고 적절한 SDR 이득을 교정하면 없어질 것으로 사료된다.

마지막으로 제안한 시스템이 실시간으로 드론의 전파 신호의 특성을 확인할 수 있는지를 확인하기 위해 DJI Mavic Air 2 드론의 OFDM 영상신호가 수신될 때 특정한 주파수 간섭을 발생시키고, 이때 영상신호의 중심주파수

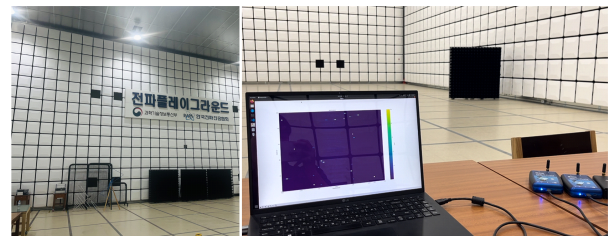


그림 3. 드론 RF 신호 측정환경 및 구현 시스템  
Fig. 3. Measurement setup for implemented drone RF signal analysis.

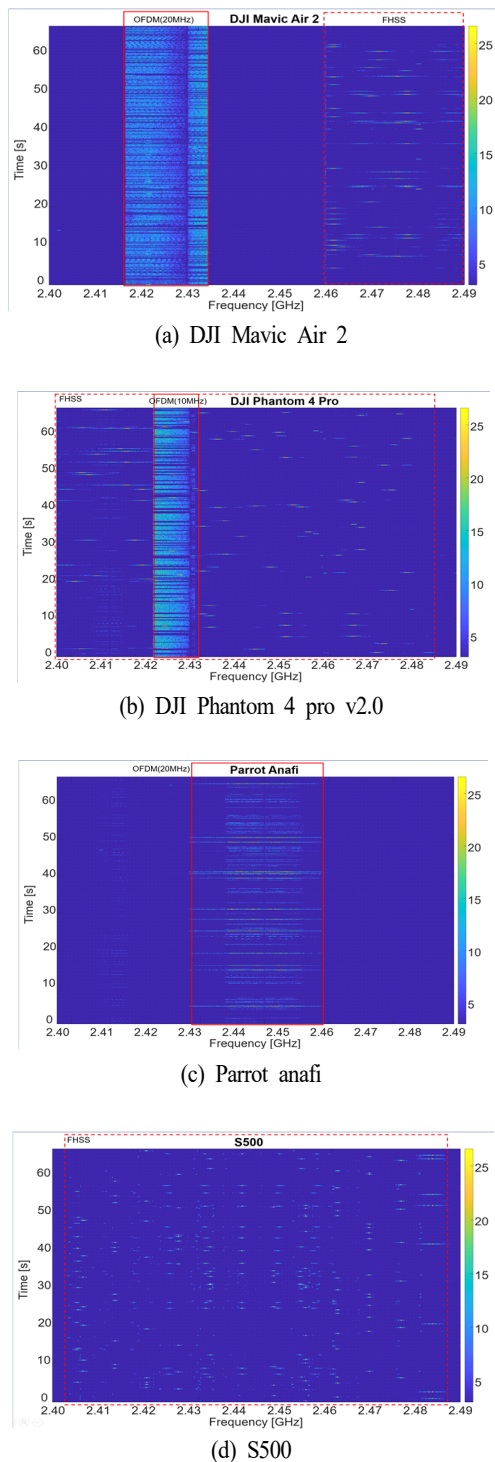


그림 4. 드론 기종별 스펙트로그램 측정 결과  
Fig. 4. Spectrograms according to the drone model.

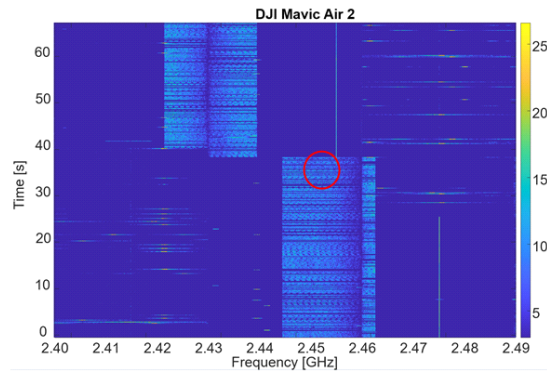


그림 5. 드론 신호 간섭 실험 스펙트로그램 측정 결과  
Fig. 5. Spectrogram after drone interference experiment.

가 바뀌는지에 대한 실험을 수행하였다. 실험은 신호 재생기(signal generator)를 사용하여 영상 신호의 중심 주파수에서 크기가 큰 정현파 간섭 신호를 임의로 생성하여 드론 통신을 방해하였다. 실험결과는 그림 5와 같이 신호 발생기에서 신호를 송신한 직후 영상 신호가 2.452 GHz의 중심주파수에서 2.427 GHz의 중심주파수로 채널 이동하는 것을 실시간으로 관찰할 수 있었다. 이러한 측정과 분석을 통해 제안한 수신기가 드론의 RF 신호 특성을 실시간으로 파악할 수 있다는 것을 확인하였다.

## V. 결 론

본 연구에서는 저가의 다중 SDR을 활용하여 드론의 RF 신호를 실시간으로 모니터링하는 방법을 제안하고 실험적으로 검증함으로써, 안티드론 시스템 개발에 있어 비용 효율적인 해결책을 제시하였다. 제안한 시스템은 드론 전파신호의 특성을 식별하고, AI 기술과 결합하여 드론의 불법 사용을 감지하는데 기여할 수 있는 유용한 데이터를 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 향후 SDR 추가를 통한 2.4 GHz와 5 GHz 이중 주파수 대역 동작, 스펙트럼 분석기와 성능 비교, 탐지 가능거리 분석, 드론 방향탐지 기능 포함, 드론의 날개 회전 등 드론의 동작 상태에 따른 스펙트로그램의 변화 관찰 등으로 연구를 확대할 예정이다.

## References

- [1] D. Cvitanić, "Drone applications in transportation," in



- 2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies(SpliTech), Split, Sep. 2020, pp. 1-4.
- [2] M. Z. Anwar, Z. Kaleem, and A. Jamalipour, "Machine learning inspired sound-based amateur drone detection for public safety applications," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 3, pp. 2526-2534 Mar. 2019.
- [3] G. N. Pham, P. H. Nguyen, "Drone detection experiment based on image processing and machine learning," *International Journal of Scientific and Technology Research*, vol. 9, no. 2, pp. 2965-2971, Feb. 2020.
- [4] Y. K. Kwag, I. S. Woo, H. Y. Kwak, and Y. H. Jung, "Multi-mode SDR radar platform for small air-vehicle drone detection," in *2016 CIE International Conference on Radar(RADAR)*, Guangzhou, Oct. 2016, pp. 1-4.
- [5] P. Flak, "Drone detection sensor with continuous 2.4 GHz ISM band coverage based on cost-effective SDR platform," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 114574-114586, Aug. 2021.
- [6] M. F. Al-Sa'd, A. Al-Ali, A. Mohamed, T. Khattab, and A. Erbad, "RF-based drone detection and identification using deep learning approaches: An initiative towards a large open source drone database," *Future Generation Computer Systems*, vol. 100, pp. 86-97, Nov. 2019.
- [7] Y. Zhang, "RF-based drone detection using machine learning," in *2021 2nd International Conference on Computing and Data Science(CDS)*, Stanford, CA, Jan. 2021, pp. 425-428.
- [8] A. Sharma, P. Vanjani, N. Paliwal, C. M. Wijerathna Basnayaka, D. N. K. Jayakody, and H. C. Wang, et al., "Communication and networking technologies for UAVs: A survey," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 168, p. 102739, Oct. 2020.
- [9] M. Nayak, U. Bhanja, D. Parida, D. Dash, and K. Dhar Sa, "A real time implementation of spectrum sensing system using software defined radio," in *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies(ICICICT)*, Kerala, Jul. 2017, pp. 603-607.
- [10] S. H. Joo, T. W. Ha, "Korea radio promotion association radio playground introduction," *The Proceedings of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 5, pp. 56-60, Sep. 2020.
- [11] S. G. Kim, Y. H. Noh, I. P. Hong, and J. G. Yook, "Stepwise RF measurement method for the analysis of Drone's communication signals," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 4, pp. 370-376, Apr. 2021.

한 수 민 [국민대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-2074-2867>



2022년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)

2022년 8월~현재: 국민대학교 석사과정 재학

[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템, 전파응용

이 지 성 [국민대학교/학부생]

<https://orcid.org/0009-0002-1527-869X>



2019년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 재학

[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템 전파응용

조 정 민 [국민대학교/학부생]

<https://orcid.org/0009-0007-7184-9780>



2019년 3월~현재: 국민대학교 전자공학  
부 재학  
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시  
스템, 전파응용

장 병 준 [국민대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-5295-6050>



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학  
사)  
1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학  
석사)  
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학  
박사)  
1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)  
1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소  
2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원  
2013년 9월~2015년 8월: 미래창조과학부 민간전문가(CP)  
2005년 9월~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수  
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템, 전파응용

황 건 우 [국민대학교/학부생]

<https://orcid.org/0009-0008-0737-5012>



2019년 3월~현재: 국민대학교 전자공학  
부 재학  
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시  
스템 전파응용