

# 차세대 셀룰러 기반 UAV 통신에 관한 실험적 연구

맹승준

한양대학교 ERICA 전자공학부

sjmaeng@hanyang.ac.kr

## An Experimental Studies on the Nex-G Cellular-Connected UAV Communications

Sung Joon Maeng

Hanyang University ERICA, Department of Electrical Engineering

### 요 약

드론은 많은 분야에서 잠재적 활용 가능성 때문에 미래 기술로 주목을 받고 있다. 하지만, 많은 경우의 전망되고 있는 드론 활용방식은 드론 조종사 시야 내에서 드론을 조종하는 방식을 벗어나 자율 주행 및 원격 모니터링이 가능한 beyond visual line of sight (BVLOS) 통신을 통해서만 실현이 가능하다. 이를 실현하는 방법으로, 셀룰러 기반 드론 통신이 연구되고 있다. 본 논문에서는 차세대 셀룰러 기반 드론 통신 연구를 위한 드론 실측 실험장 AERPAW 를 소개하고, 실험장을 이용하여 얻은 LTE 및 5G I/Q 샘플 실측 데이터셋과 스펙트럼 감시 데이터셋을 소개하고 이를 활용한 연구 결과에 대해 다룬다.

### I. 서론

최근, 드론은 많은 분야에서 잠재적 활용 가능성 때문에 주목을 받고 있다. 드론은 적 감시, 요격 작전을 위한 군사적 목적뿐만 아니라 재난 상황에서의 탐색 및 구조, 통신 망 구축 등 공공안전을 위해서도 활용이 예측되고, 드론 택시, 무인 배달과 같은 산업 분야에서도 많은 수요가 예측되고 있다. 이러한 잠재적 시나리오에 드론을 활용하기 위해서는 드론 조종사 시야 내에서 드론을 조종하는 방식을 벗어나 자율 주행 및 원격 모니터링이 가능한 beyond visual line of sight (BVLOS) 통신이 가능해야 한다. 이를 실현하기 위해, 셀룰러 통신망을 지상의 연결 지점으로 활용한 셀룰러 기반 드론 통신이 연구되고 있다.

현재까지, 셀룰러 기반 드론 통신을 위한 활발한 연구들이 이루어지고 있지만, 지상의 기지국과 항공의 드론 간의 통신에 대한 정확한 이해를 위해 실측에 기반한 검증과 실측을 기반으로 새로운 모델을 제시하는 연구는 많이 진행되지 않았다. 대부분의 연구가 지상의 통신에서 활용된 통신 채널의 수학적 모델링을 그대로 적용하거나 이를 확장하는 이론적 연구에 그치고 있다.

본 논문에서는 차세대 셀룰러 기반 드론 통신 연구를 위한 드론 실측 실험장을 소개하고, 실험장을 이용하여 얻은 실측 데이터와 이를 활용한 연구 결과에 대해 다룬다.

### II. 본론

가. 무선 드론 통신 실험장: AERPAW

AERPAW (Aerial Experimentation and Research Platform for Advanced Wireless)는 도시 규모의 무선 통신 실험장으로 프로그래밍 가능한 통신 설비와 무인 기체들을 사용하여 연구 목적의 실험이 가능하다[1]. 실험장은 미국 North Carolina State University 연구팀이 주도적으로 도시 Raleigh, NC 에 구축되었다. 실험장은 도심환경을 위한 Centennial Campus 와 시골환경을 위한 Lake Wheeler Road Labs 으로 나뉘어져 있다. 실험장을 사용하는 연구자는 원격으로 실험환경을 개발자 환경에서 구축하고, AERPAW 전문 실험팀이 그 실험을 수행한다. 실험으로부터 얻은 실측 데이터셋은 가상환경에서 접근하거나 분석하는 것이 가능하다. 예를 들어, 디지털 트윈(digital twin) 에뮬레이션 환경에서 예측된 실험 결과와 실측 실험 결과를 비교하는 것이 가능하다. AERPAW 고정 노드(fixed node)에서 실험 구축이 가능한 통신 기술로는 4G LTE, 5G NR, LoRa, 스펙트럼 센서가 있고, AERPAW 무인기체로는 소형/중형 드론(UAV), 지상을 주행하는 UGV, 기구와 연의 형태로 공중에 떠있는 helikite 가 있다. AERPAW 고정노드와 무인기체는 다양한 종류의 software-defined radio (SDR)가 탑재하여 범용성 있는 실험설계를 지원한다.

나. LTE 와 5G NR 기술을 이용한 드론 통신 실험

Lake Wheeler Road Labs 의 시골환경 실험장에서 기지국 역할을 하는 고정노드에 설치되어 있는 SDR 을

프로그래밍하여 LTE 혹은 5G NR 기지국으로 구축하였다. LTE 기지국 실험에서는 데이터를 제외한 동기화와 채널추정, 수신신호 세기 측정에 필요한 PSS, SSS, PBCH, CRS 를 전송하였고, 5G NR 실험에서는 SSB 를 전송하였다. 신호를 수신하는 무인기체로 SDR 수신기를 장착한 드론을 사용하였고 위성지도에 웨이포인트 waypoint 방식으로 경로와 이동에 따른 드론의 포지션(position)을 미리 프로그래밍 하였다. 드론이 실험장 전역을 이동하고 돌아올 수 있도록 시그널 패턴의 이동경로를 설정하였다. 실험에서 이동하는 동안 드론은 LTE 혹은 5G NR 의 I/Q 샘플을 수집하고 서버에 저장한다. 실험이 끝난 후, I/Q 샘플은 GPS 정보와 결합하여 후처리(post-processing) 과정을 거쳐 위치 정보를 활용할 수 있는 실측 데이터셋을 얻을 수 있고, 이를 분석하고 알고리즘 검증에 이용할 수 있다.

수집한 I/Q 샘플 데이터셋으로부터 GS(ground station)-to-UAV 채널 모델링, 수신기 동기화 및 채널 추정 알고리즘 검증, 로컬라이제이션(localization) 알고리즘 검증[2], 3 차원 신호 감지 알고리즘 검증[3], 데이터셋 기반 AI 기법 연구 등이 가능하다.

#### 다. Helikite 를 이용한 스펙트럼 감시 실험

Helikite 는 바람을 동력으로 장시간 하늘에 떠있을 수 있기 때문에 장시간을 측정을 요구하는 스펙트럼 감시 실험에 사용하기 적합하다. Lake Wheeler Road Labs 시골환경과 대학 축제 날의 Main Campus 의 혼잡한 도심 환경에서 helikite 를 이용한 스펙트럼 감시 실험을 하였고, 고도와 시간에 따른 스펙트럼 사용 경향을 비교 분석하였다[4]. 또한, helikite 에 연결되어 있는 빔줄의 길이를 조절함으로써 고도 조절을 하였다. 100 MHz 부터 6 GHz 범위의 스펙트럼을 연속적으로 탐색하면서 신호의 세기를 측정하였고 1 회 스펙트럼 탐색에 대략 15 초가 소요된다.

실험결과로부터 얻은 sub-6 GHz 스펙트럼 감시 데이터셋은 스펙트럼 공유(spectrum sharing) 기법을 위한 시간/주파수/공간 영역별 신호 할당 유무를 예측 및 모델링하는 연구 혹은 실시간 스펙트럼 사용 변화에 적응적으로 주파수를 관리하는 기법 연구에 활용될 수 있다.

### III. 결론

본논문에서는 셀룰러 기반 드론 통신 연구를 위해 설치된 드론 실측 실험장 AERPAW 를 소개하고 다양한 실험 시나리오를 소개한다. LTE 와 5G NR 기술을 활용한 드론 통신 실측 결과 및 활용 방안을 소개하고, 주파수 공유 기법연구를 위한 스펙트럼 감시 실험 결과들과 활용방안들을 소개한다.

### 참 고 문 헌

[1] S. J. Maeng, O. Ozdemir, I. Guvenc, M. L. Sichitiu, M. Mushi and R. Dutta, "LTE I/Q Data Set for UAV Propagation Modeling, Communication, and Navigation Research," *IEEE Comm. Mag.*, Sep. 2023.

[2] S. J. Maeng, H. Kwon, O. Ozdemir and I. Guvenc, "Impact of 3-D Antenna Radiation Pattern in UAV Air-to-Ground Path Loss Modeling and RSRP-Based Localization in Rural Area," *IEEE Open J. Antennas Propag.*, Oct. 2023.

[3] S. J. Maeng, O. Ozdemir, I. Guvenc and M. L. Sichitiu, "Kriging-Based 3-D Spectrum Awareness for Radio Dynamic Zones Using Aerial Spectrum Sensors," *IEEE Sens. J.*, Mar. 2024.

[4] S. J. Maeng, O. Ozdemir, H. N. Nandakumar, I. Guvenc, M. L. Sichitiu, R. Dutta, and M. Mushi, "Spectrum Activity Monitoring and Analysis for Sub-6 GHz Bands Using a Helikite," in *Proc COMSNETS*, Bengaluru, India, Jan. 2023.