

드론 RF 무선 통신 시스템 설계를 위한 통신 장비 특성 분석 연구

지현태*, 최상훈¹, 박기웅[†]*세종대학교 Syscore Lab. (학부생*, 연구교수¹)**세종대학교 정보보호학과 (교수[†])Analysis of Communication Equipment Characteristics for RF
Wireless Communication System Design in DronesHyun-tae Ji*, Sang-Hoon Choi¹, Ki-Woong Park[†]

* SysCore Lab., Sejong University

**Dept. of Computer and Information Security, Sejong University
(Undergraduate student*, Research Professor¹, Professor[†])

요 약

드론이 전장의 핵심 기술로 부상함에 따라, 이에 대응하는 대드론 전략이 등장하고 있다. 특히 전파 간섭 기반의 공격 기법이 주요 위협으로 부각되면서, 전자기 간섭에 안전한 광섬유 케이블 드론이 주목받고 있다. 광섬유 통신은 높은 보안성과 감청 저항성을 갖지만, 무게·부피 증가와 제한된 거리, 단선 시 복구 어려움 등 물리적 한계로 실용성이 떨어진다. 본 연구는 이러한 배경을 바탕으로 드론 설계 과정에서 고려할 수 있는 다양한 무선 통신 기술들을 체계적으로 정리하고, 기존 및 신규 방식을 분석하여 드론 통신 시스템 설계의 선택 지침과 향후 연구 과제를 제시하는 것을 목표로 한다.

I. 서론

최근 전쟁에서 드론의 활용이 급격히 증가하며 핵심 전장 기술로 부상하였다. 이에 대응해 각국은 물리적 요격 전자전 등의 대드론 전략을 강화하고 있으며, 이에 대한 대응으로 러시아는 2024년 전자전 환경에서 채밍에 강한 광섬유 유선 자폭 드론을 실전에 투입해 적대적 전자간섭을 차단하는 제어시스템을 구현하였다.

하지만 광섬유 통신의 단점 또한 존재하는데 광섬유 케이블 길이에 따라 작전 가능한 반경이 물리적으로 제한되기에 사거리(운용 반경) 및 기동성 제약이 있으며 발사 지점과 광케이블 루트가 노출될 가능성이 높고, 케이블이 단선된다면 즉각적인 채널 복구가 어렵다는 단점

이 존재한다.

따라서 유선통신의 한계를 고려할 때, 드론은 무선 통신의 경량, 기동, 장거리 특성을 최대한 활용해야 하며, 빠르게 변화해가는 드론 시스템 환경에서 최신 기술 동향을 고려한 통신 장비의 특성 분석 연구가 지속적으로 요구되고 있고, 이를 위해 무선 통신 장비의 무게, 부피, 전력 소모 등을 종합적으로 분석해야 할 필요가 있다.

이러한 배경에 따라 본 논문에서는 통신기법의 특성과 하드웨어 사양을 통합적으로 분석하고, 드론 통신 설계에 활용 가능한 종합적 기준을 제시한다.

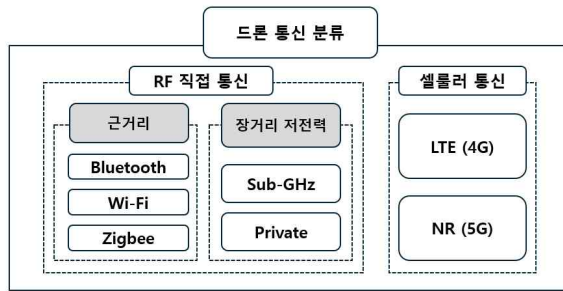
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 통신 방식 설명, 3장에서는 드론 플랫폼 구축 시 경량화, 기동성, 장거리 운용을 최대한 보존할 수 있도록 드론에 주요하게 사용되는 무선 통신 방식과 관련 장비의 규격 및 성능을 분석한다. 4장에서는 결론 및 향후 연구를 기술

본 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 실감콘텐츠핵심기술개발(Project No. RS-2023-00228996, 40%), 국방ICT융합연구(Project No. 2022-11220701, 30%), 한국콘텐츠진흥원(KOCCA) 저작권기술 글로벌 인재 양성사업 (Project No. RS-2025-02221620, 30%)의 지원을 받아 수행된 연구임

한다.

II. 무선통신 배경 지식

본 연구에서는 드론 무선 통신을 크게 수신기와 송신기가 RF신호로 직접 연결되는 형태로 데이터를 주고받는 RF 직접 통신 방식과, 통신사업자의 기지국 및 코어망을 매개로 하는 셀룰러 기반 통신 방식으로 구분하였다.



(그림 1) 드론 통신 분류

RF 직접 통신은 주파수 대역과 출력 특성에 따라 근거리(2.4GHz 대역) 통신과 장거리 저전력(Sub-GHz 대역) 통신으로 세분화되며, (그림 1)과 같이 Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee, LoRa, Private(ACCESS 등)이 이에 속한다. Sub-GHz는 1GHz 미만의 대역(주로 433MHz, 868MHz, 915MHz, 920MHz 등)을 사용하는 장거리 저전력 무선통신 기술이며 셀룰러 통신은 LTE(4G)와 NR(5G)을 이용해 원격 명령·제어 및 데이터 전송하는 방식으로, 광범위한 전송범위와 높은 대역폭을 제공한다.

III. 무선 통신 장비 성능 분석

본 장에서는 분류한 통신별로 대표적으로 사용되는 장비의 규격과 성능을 조사 내용을 바탕으로 드론 플랫폼 구현에서 사용방안을 분석하였다. 정리된 내용은 [표 1]과 같다.

3.1 근거리 통신(Bluetooth / Wi-Fi / Zigbee)

Bluetooth는 통신거리가 10~100m 수준으로 제한되어 장거리 제어에는 부적합하지만, 펌웨어 업데이트나 비행 컨트롤러 설정 등의 근거리 작업에 적합하다[3].

Wi-Fi는 높은 데이터 전송률(수십~수백 Mbps) 덕분에 실시간 영상 전송이 가능하지만, 전력소모가 높고 채널 혼잡에 취약하다[4].

Zigbee는 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 한 저전력 메시(mesh) 네트워크 프로토콜로, 드론 간 근거리 센서 데이터 교환이나 편대 간 상태 공유에 적합하기에 군집드론 제어에 사용될 수 있다[5].

3.2 Sub-GHz

Sub-GHz 통신의 대표적인 기술로는 LoRa(Long Range) 통신이 있다. 수 ~ 수십km까지 장거리 통신이 가능하며, 송신 전류는 0.7~1.05mA로 전력 사용면에서 효율적이다. 하지만 데이터 전송률이 수 kbps 수준으로 낮고 지연시간이 높아 실시간 제어에는 부적합하다. 따

[표 1] 무선통신 장비 별 규격 및 성능조사 분석 결과

분류	근거리 통신			장거리 저전력 통신		셀룰러 통신	
특성	Wi-Fi (ESP8266)	Bluetooth (ESP32-WROOM32)	Zigbee (XBeeS2 Pro)	LoRa (LoRa-E5)	ACCESS (R-xsr)	LTE (EG25-G)	5G (RM500Q-G L)
Frequency	2.4 ~ 2.5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	868 / 915 MHz	2.4GHz	LTE Cat4	5G / LTE Cat 16
Bandwidth	수십 Mps	150 Mps	250 kbps	0.3 ~ 50 kbps	수 ~ 수십 kbps	-	2.6 Gbps
Latency	수 ~ 수십 ms	수 ~ 수십 ms	수십 ms	수백 ms	수 ms	30 ~ 100 ms	-
Operating Current	56 mA	95 ~ 100 mA	38 mA	0.7 ~ 1.05 mA	70 mA	605 mA	54 mA
Size(mm)	16 × 24	18 × 25.5	24 × 32	50 × 23	16 × 11	29 × 32	30 × 52
Range	10 ~ 50 m	40 ~ 100 m	120 m	수 ~ 수십 km	0.5 ~ 2 km	기지국 커버리지 (수 ~ 수십 km)	

라서 LoRa는 주 제어 채널이 아닌 보조 링크 (Failover Channel) 또는 상태정보·위치 데이터 전송용 서브 채널로 사용하는 것이 적합하다.

3.3. 독자 규격(Private)

FrSky의 ACCESS 프로토콜은 대표적인 독자 무선 규격으로, 2.4GHz 대역을 기반으로 하여 저지연·고대역 통신을 지원한다. 동 주파수 대비 우수한 전송거리를 가지며 하드웨어 보안 모듈과 펌웨어 계층이 결합된 구조를 통해 물리적 복제나 역공학을 어렵게 설계되어 있어 신호 스니핑·리버스 엔지니어링에 대한 높은 저항성을 갖추고 있어 전술 환경에서 유리하다.

3.4 셀룰러 통신 기반

기반 통신의 장점은 기존 RF 링크보다 높은 대역폭과 낮은 지연시간에 있다. LTE는 약 30~100ms, 5G는 1~10ms 수준의 지연을 가지며, 높은 대역폭으로 고해상도 영상전송에 탁월하며, 기지국 통신 기반으로 먼 거리에서도 데이터 송수신이 가능하다.

다만 기지국 커버리지 외 지역에서는 통신이 불가능하며, 고속 이동 중 셀 간 핸드오버 시 지연이 발생할 수 있고, 고속 데이터 전송 시 배터리 소모가 증가한다. 이러한 한계를 보완하기 위해 LoRa나 433MHz 등의 저전력 채널을 병행하는 하이브리드 링크 구조가 연구되고 있다.

IV. 결론 및 향후 연구

기존 연구에서는 드론 RF 통신기법과 하드웨어 스펙을 종합적으로 다루지 못하고 단편적으로 이루어져 있었기에 본 연구에서는 드론 무선통신을 RF 직접 통신(2.4GHz, Sub-GHz)과 셀룰러(LTE/5G)로 구분해 주파수, 대역폭, 감도, 지연, 전력, 무게, 전송거리 등을 비교, 분석하였으며 이를 통해 각 방식의 기술적 특징과 한계를 도출하고 드론 통신 설계의 고려 요소와 적용 방향을 제시하였다.

향후 연구에서는 본 연구에서 도출된 통신 특성들을 기반으로 실제 운용 환경에서 검증 가능한 드론 통신 테스트베드를 구축하는 것을

목표로 한다.

[참고문헌]

- [1] 구도경, "The Adaptive Evolution of Drones and Counter-drones Focusing on the Four Phases of Drone Warfare in the Russo-Ukraine War," 한국군사학논집, 권, 호, 1-36, 2025, .
- [2] 김희욱, 강군석, 김대호, & 이병선, "드론 무선 통신 기술," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, vol. 37, no. 6, pp. 3-11, 2020.
- [3] Zhang, Yue & Weng, Jian & Dey, Rajib & Fu, Xinwen. (2019). B Bluetooth Low Energy (BLE) Security and Privacy. 10.1007/978-3-319-32903-1_298-1.
- [4] Joon Beom Lee et al. "Low Power and Long Range MAC Protocol for Inter-Drone communications based Sub-GHz Band," 한국정보처리학회 학술대회논문집, vol. 23, no. 2, pp. 90-93, 2016.
- [5] 왕성호, "ZigBee 의 기술 및 응용," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, vol. 30, no. 6, pp. 47-53, 2013.
- [6] Yoon-je Choi, Hee-ho Choi, Geon-ha Hwang, and Kyung-seop Shin, "Assessment of LoRa Network Performance in Domestic Environments and Investigation of Interference Phenomena by Spreading Factor," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 50, no. 6, pp. 971-977, 2025, doi: 10.7840/kics.2025.50.6.971
- [7] Chen, S.; Li, W.; Zheng, W.; Liu, F.; Zhou, S.; Wang, S.; Yuan, Y.; Zhang, T. Application of Optical Communication Technology for UAV Swarm. Electronics 2025, 14, 994.