

다중 드론 기반 RF 수집 시스템의 실시간 신호전송 소프트웨어 프레임워크

박동혁, 강희석, 임상훈, 김선교*, 장재원*

한화시스템, *국방과학연구소

donghyuk.park@hanwha.com

요 약

본 논문은 저피탐성 환경에서의 광대역 RF 신호 수집 및 실시간 분석을 목적으로 하는 다중 드론 기반의 분산형 신호수집 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 16기의 각 드론에 RF 수신 안테나와 NVIDIA Jetson 모듈을 탑재하여 고속 신호 수집과 전처리를 수행하고, 무선 송수신기를 통해 Wi-Fi 기반으로 데이터를 지상통제소(GCS)에 실시간 전송한다. GCS는 5대의 무선송수신기와 유무선 허브로 구성되어 각 드론과의 고속 통신을 지원한다. 제어신호와 IQ 데이터 전송에 있어 UDP, TCP, gRPC를 비교하였고, 바람, 채널 간섭 등 현실적 요소를 반영한 시뮬레이션을 통해 각 방식의 성능을 평가하였다.

1. 서 론

국방 감시, 전자전, 통신 감청 등 다양한 분야에서 광대역 RF 신호의 수집 및 분석은 점점 중요해지고 있다. 특히 저피탐성이 요구되는 환경에서는 기존 고정형 수집 방식에 공간적 한계가 존재한다. 이러한 요구를 해결하기 위해 다수의 드론을 활용한 분산형 수집 시스템이 주목받고 있으며, 본 논문에서는 이를 실시간으로 운용 가능하도록 구성한 시스템을 제안하고 성능을 실증하였다.

2. 시스템 아키텍처

2.1 전체구조

본 시스템은 16기의 드론, 각 드론에 탑재된 FC 및 Jetson 기반의 컴퓨팅 모듈, 중앙분석 서버로 구성된다. 드론은 TCP/UDP 기반의 노드를 통해 무선으로 데이터를 전송하며, 분석 서버는 이를 무선으로 수신하고 처리한다.

2.2 드론측 구성

- RF 안테나 : FC에 연결되어 수신된 RF 신호를 수집함
- Jetson Nano : 드론에 신호의 전처리 및 신호 전송 수행
- WiFi 송수신기 : TCP/UDP 구조를 채택하여 데이터 전송

2.3 중앙서버 구성

- 허브 : 유선/무선으로 구성되어 WiFi송수신기를 통해 신호 수집
- WiFi 송수신기 : 5대로 구성되어 1대당 4대의 드론과 통신, 1대는 제어신호 전용 채널로 활용
- 중앙서버 : 결과를 시각화 하거나 외부 시스템과 연계

2.3 통신 구조

- Wi-Fi 5GHz, DFS 채널, 2x2 MIMO 구성

- 제어신호: UDP 기반 MAVLink 또는 gRPC 비교

- IQ 데이터: 자체 ICD를 통한 UDP, TCP, gRPC 기반 전송 비교
- 위치 정보는 UWB를 통해 측정하며, GCS와의 상대적 위치를 지속 추적

3. 시뮬레이션 및 성능 평가

3.1 환경 설정

- 드론 간 거리: 반경 20m 이내 군집 비행
- GCS와의 거리: 10m~200m (10m 단위)
- 채널 수 제한 (최대 8채널), 바람에 의한 간섭 가변성 고려
- DFS 사용, 5GHz 대역 적용, MIMO 통신 반영

3.2 평가 지표

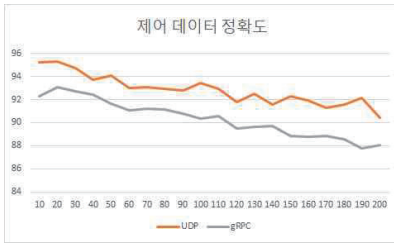
- 정확도(%): 수신 데이터의 완전성
- 평균 전송시간(ms): 단일 패킷 기준 평균 소요 시간
- 재전송 소요시간(ms): 재전송 발생 시 포함 시간
- CPU 점유율(%): Jetson 단말 기준 처리 부하

3.3 평가 지표

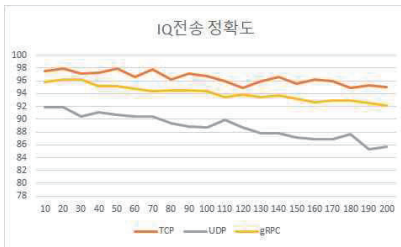
- 제어신호 전송 방식: UDP 기반 MAVLink / gRPC
- IQ 데이터 전송 방식: UDP/TCP/ gRPC 기반 비교

3.4 시뮬레이션 결과 그래프

· 제어데이터 정확도



· IQ전송 정확도



3.5 시뮬레이션 결과 요약

- UDP는 지연이 가장 낮으나, 바람과 간섭으로 인한 손실률이 가장 큼
- TCP는 안정성과 정확도 우수, 특히 IQ 데이터 전송에 효과적
- gRPC는 구조적 장점이 있으며 유지보수 측면에서 강점 있음
- 바람에 의한 출렁임이 통신 품질에 실질적 영향을 미치는 것으로 나타남

4. 결론

본 논문에서 제안한 시스템은 저피탐성과 실시간성, 분산 수집의 장점을 모두 결합한 구조로 실제 운용 가능성을 보였다.

제어신호 전송에는 UDP 기반 MAVLink 방식이 가장 효과적이었으며, 지연시간이 가장 짧고 빠른 반응성을 확인할 수 있었다.

IQ 데이터 전송에는 TCP 기반 전송 방식이 가장 안정적이며, 높은 정확도와 예측 가능한 통신 성능을 보였다.

gRPC는 확장성과 유연성 측면에서 유망하므로, 장기적으로는 구조 전환이 가능한 옵션으로 제안된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(방위사업청)의 재원으로 미래도전국방기술과제(No.915087201)를 통해 연구가 수행되었다.