

# 분산 데이터 송수신을 위한 다채널 데이터 전송 효율 분석

장재원, 박철순, 나선필, 조성진, 김선교, 김경민

국방과학연구소

jaewon2834@gmail.com

## Analysis of Multi-Channel Data Transmission Efficiency for Distributed Data Transmission and Reception

Jaewon Chang · Cheol-Sun Park · Sun-Phil Nah · SungJin Jo · Seon-Kyo Kim · Gyungmin Kim

Agency for Defense Development

### 요약

현대전에서 드론을 이용한 전장 환경은 기존 운용 개념으로 활용되던 재래식 무기 체계의 한계 및 작전 제한 사항을 발생시켰으며, 이로 인하여 다양한 임무에 무인 드론이 비대칭 전력으로 적용되어 활용되고 있다. 다수 드론을 이용한 전자전 활동은 관심 신호에 대한 탐지 및 정보 획득을 보다 근접 거리에서 효율적으로 수행할 수 있으며, 이를 통하여 기존 방식으로 탐지가 어려운 저피탐 광대역 신호 획득을 가능하게 한다. 본 연구에서는 다수 드론에 탑재된 안테나 및 수신기를 이용하여 분산형 배열안테나 빔포밍 구현시 필요한 실시간 다채널 무선 데이터 송수신 기법을 제시하고 분산 데이터 송수신에 따른 패킷 전송 성능을 평가한다. 무선 자원을 동시에 사용하는 다수 드론 상호 간의 데이터 통신 패킷 오율, 거리 변화에 따른 수신 신호 대 잡음비 및 최대 전송량 분석 결과를 제시한다.

### I. 서론

현대전에서는 급변하는 전장 환경에 즉각적이고 유연성 있게 대응하기 위하여 소수의 병력으로 다수의 무인 자율화 기반 지능형 무기체계를 운용하기 위한 기술이 활발하게 적용되고 있다[1]. 이와 관련하여, 안테나와 송수신기를 탑재한 복수의 드론을 분산 배치하여 전자전 대응 및 지상 방어 목적의 감시 정찰용 무인 무기체계로 활용하는 것이 가능하다. 드론을 감시 정찰용 무인 무기체계로 활용할 때, 대상 RF(Radio Frequency) 신호 특성 및 운용 주파수 대역에 적합한 형태로 분산 배치된 복수의 드론을 동시에 활용하여 드론에 탑재된 안테나로 구성된 배열안테나 빔포밍 방법을 구현할 수 있다[2].

물리적으로 이격되어 배치된, 복수의 드론에 탑재된 안테나를 이용하여 분산형 빔포밍을 구현하기 위해서는 각 안테나에서 송수신되는 데이터를 빔포밍이 가능한 형태로 신호 처리한 데이터 프레임을 드론 상호 간 실시간으로 송수신해야 한다. 특히, 분산형 빔포밍을 구현하기 위해서는 빔포밍 신호처리를 통하여 송수신하고자 하는 정보에 대한 데이터 프레임을 생성한 드론이 생성한 데이터 프레임을 분산 배치된 다른 드론 및 지상 운용 장비와 공유할 필요가 있다. 이때, 생성된 데이터 프레임의 공유 및 신호 처리 과정은 분산형 빔포밍 방법을 활용한 신호 송신 또는 신호 수신 등의 목적에 따라 달라질 수 있다.

분산형 빔포밍을 통해 정보를 수신하는 경우, 수신하고자 하는 정보에 대한 데이터 프레임은 복수의 드론의 수신기에서 생성되고, 생성된 데이터 프레임에 분산형 빔포밍 수신을 위한 신호처리가 적용될 수 있다. 예를 들면, 빔포밍 수신을 위한 신호처리가 적용된 데이터 프레임을 복수의 슬레이브(slave) 드론이 마스터(master) 드론을 통하여 지상 운용 장비에 전달하는 방법, 빔포밍 수신을 위한 신호처리가 적용되지 않은 데이터 프레임을 복수의 슬레이브 드론이 마스터 드론으로 전달하고, 마스터 드론이

전달받은 데이터 프레임에 빔포밍 수신을 위한 신호처리를 적용하여 지상 운용 장비로 전달하는 방법이 있을 수 있다.

분산형 빔포밍을 통해 정보를 송신하는 경우, 송신하고자 하는 정보에 대한 데이터 프레임은 지상 운용 장비에서 생성되고, 생성된 데이터 프레임에 분산형 빔포밍 전송을 위한 신호처리가 적용될 수 있다. 예를 들면, 빔포밍 전송을 위한 신호처리가 적용된 데이터 프레임을 지상 운용 장비가 마스터 드론을 통하여 복수의 슬레이브 드론에 전달하는 방법, 빔포밍 전송을 위한 신호처리가 적용되지 않은 데이터 프레임을 지상 운용 장비가 마스터 드론으로 전달하고 마스터 드론이 전달받은 데이터 프레임을 다시 복수의 슬레이브 드론으로 전달하여 각 드론이 전달받은 데이터 프레임에 빔포밍 전송을 위한 신호처리를 적용하는 방법이 있을 수 있다.

이때, 기존 고정된 위치의 배열안테나를 이용하는 방법 대비, 분산 배치된 복수의 드론에 탑재된 안테나를 이용하여 빔포밍을 통해 정보를 송수신하는 경우, 드론의 움직임에 따라 실시간으로 안테나의 위치가 변경될 수 있다. 따라서, 분산형 빔포밍을 통해 정보를 송수신하는 방법을 구현하기 위해서는 복수의 드론에 탑재된 안테나를 통해 송수신되는 데이터를 빔포밍이 가능한 형태로 신호 처리하고, 빔포밍이 가능한 형태로 신호 처리된 데이터 프레임을 드론 상호 간 실시간으로 송수신하는 기술이 필수적으로 요구된다. 즉, 마스터 드론 및 복수의 슬레이브 드론 상호 간 송수신하고자 하는 정보에 대한 데이터 프레임을 전달하고 공유하는 실시간 대응용 무선 데이터 송수신 방법이 필요하다.

본 논문에서는 분산 배치된 복수의 드론을 이용하여 빔포밍을 적용하기 위한 분산 데이터 송수신 기법을 기술하고 적용된 분산 데이터 송수신 기법의 다채널 데이터 전송 효율을 분석한다. 자원 할당 방법 및 변복조 방법에 따른 패킷 오율 및 전송량 변화를 분석하고, 분산 데이터 송수신 거리 변화에 따른 수신 신호 대 잡음비 및 최대 전송량 분석 결과를 제시한다.

## II. 본 론

무선 RF 신호 송수신기를 탑재하여 분산 배치된 드론 중에서 Master 노드와 Slave 노드를 결정하고, 다중 노드가 동시에 다중 접속이 가능한 무선 자원을 할당하기 위한 무선 데이터 송수신 채널을 구성하여 분산형 빔포밍 기반 무선 데이터 송수신을 수행할 수 있다. 요구 주파수 대역에서의 대상 신호에 대한 RF 신호를 분산 배치된 드론의 송수신기에서 처리하며, 이를 위한 디지털 신호 처리된 IF(Intermediate Frequency) 신호를 데이터 프레임 형태로 분산형 빔포밍 기반 무선 데이터 송수신 채널을 통하여 마스터 노드와 슬레이브 노드 상호 간 전달하여 공유할 수 있다.

분산 데이터 송수신을 위한 다채널 데이터 송수신 성능 검증을 위하여 표 1의 시험 조건 및 물리 계층 전송 패킷 구성 파라미터를 고려하였다. 그림 1은 다수개의 분산 배치된 드론에 할당된 다채널 데이터를 송수신하기 위한 다중 접속 무선 링크의 주파수 자원 할당 스펙트럼이다. 320 MHz 대역폭의 단일 전송 채널에 16 개의 부채널 자원을 다중 노드들에 할당하였을 때 부채널 구성을 위한 subcarrier 자원 할당 구조이다. 20 MHz 대역폭 부채널 16 개를 할당하는 방법과 40 MHz 대역폭 부채널 8 개를 할당하고 단일 부채널 당 2 개 노드가 동시에 사용하는 방법의 다중 노드 자원 할당에 따른 주파수 스펙트럼이다.

부채널 별로 할당된 20 MHz 대역폭의 주파수 자원을 통하여 전송되는 IF 신호 데이터 프레임의 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨 별 PER(Packet Error Rate)은 그림 2(좌)와 같으며, 이때 부채널 별 데이터의 송수신 전송량 그림 2(우)와 같다. 이와 같은 패킷 전송 성능을 갖는 다채널 데이터 송수신 채널이 분산 데이터 송수신에 활용될 때 원거리 통신에 따른 성능 변화를 분석하기 위하여 그림 3과 같이 분산 데이터 송수신 거리 별 신호 대 잡음비 분포 및 최대 전송량 값을 도출하였다. 10 m 송수신 거리 기준 평균 수신 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio)의 평균값은 약 41.3 dB, 200 m 송수신 거리 기준 평균 수신 신호 대 잡음비의 평균값은 약 14.8 dB로 그림 3(좌)와 같이 거리가 증가함에 따라 급격히 감소함을 확인할 수 있으며, 200 m 거리에서 분산 데이터 송수신 시 그림 2의 MCS3(16QAM,  $R=1/2$ ) 또는 MCS4(16QAM,  $R=3/4$ ) 전송이 높은 빈도로 사용될 수 있음을 통하여 알 수 있다. 또한 200 m 송수신 거리 기준 획득할 수 있는 사용자별 최대 송수신 전송량은 20 MHz 부채널 대역폭 사용 시 약 56 Mbps, 40 MHz 부채널 대역폭 사용 시 약 81 Mbps임을 그림 3(우)를 통하여 확인하였다.

표 1. Simulation parameters

| Parameters   | Value  |  |
|--|--|--|
| Frequency band   | 6.0 GHz  |  |
| System bandwidth   | 320 MHz  |  |
| OFDMA symbol duration                                    | 15 $\mu$ sec (cyclic prefix : 3.2 $\mu$ sec)   |  |
| # of subchannels   | 16   | 8  |
| Subchannel bandwidth                                     | 20 MHz   | 40 MHz   |
| # of FFT points per subchannel (data + guard subcarrier) | 256 (234 + 22)   | 512 (468 + 44)   |
| Spatial Multiplexing                                     | SU-MIMO  | MU-MIMO (MMSE-SIC reception)   |
| Channel Model  | TGax NLOS indoor channel model (Model-B) [3]   |  |
| Channel coding   | LDPC code  |  |
| MCS level  | BPSK: $R = 1/2$<br>QPSK: $R = 1/2, 3/4$<br>16QAM: $R = 1/2, 3/4$<br>64QAM: $R = 2/3, 3/4, 5/6$ | 256QAM: $R = 3/4, 5/6$<br>1024QAM: $R = 3/4, 5/6$<br>4096QAM: $R = 3/4, 5/6$ |
| Antenna configuration                                    | 1-Tx STA / 4-Rx AP   |  |
| Tx power   | 20 dBm   |  |

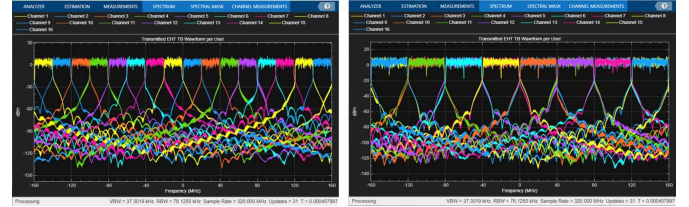


그림 1. 광대역 분산 데이터 다중화 송수신을 위한 주파수 자원 할당 : 20 MHz 부채널 대역폭(좌), 40 MHz 부채널 대역폭(우)

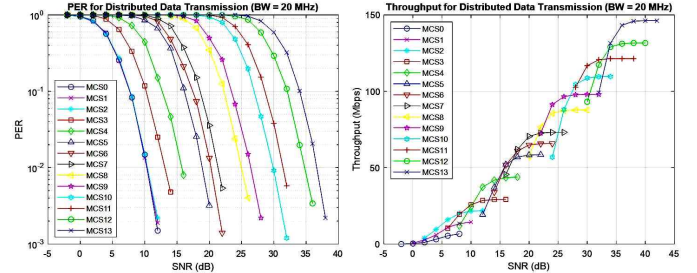


그림 2. MCS 레벨에 따른 패킷 오류(좌) 및 단일 부채널 데이터 전송량(우)

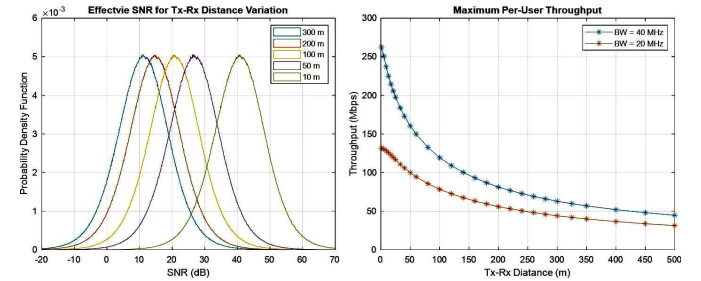


그림 3. 데이터 송수신 거리 별 신호 대 잡음비 분포(좌) 및 최대 전송량(우)

## III. 결 론

본 논문에서는 분산 배치된 드론을 이용하여 요구 주파수 범위에 대한 실시간 빔포밍 송수신이 가능하도록 적용된 다채널 분산 데이터 송수신 기법의 전송 효율을 분석하였다. 직교 주파수 분할 다중 접속 시스템을 통한 드론 상호 간 데이터 처리 속도와 분산 데이터 송수신 거리에 따른 수신 신호 대 잡음비 및 최대 전송량을 분석하여 적용 가능성을 검증하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

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

## 참 고 문 헌

- [1] V. Pavlenko, I. Ponomarenko, O. Morhulets, V. Osadchyi, D. Ponomarenko, and O. Hrygorevska, "Using artificial intelligence to control drones," in *Proc. IEEE MSNMC '23*, Kyiv, Ukraine, pp. 182-185, Oct. 2023.
- [2] M. Hedayat, J. Diao and Y. E. Wang, "Adaptive Communications with Swarm Aperture," in *Proc. IEEE RWS '99*, Orlando, FL, USA, pp. 1-3, Jan. 2019.
- [3] L. Jianhan, Ron L. et al., "IEEE 802.11ax channel model document," IEEE 802.11-14/0882r4, Sept. 2014.
- [4] J. P. Kermaol, L. Schumacher, K. I. Pedersen, P. E. Mogensen, "A stochastic MIMO radio channel model with experimental validation", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 20, no. 6, pp. 1211-1226, Aug. 2022.