

다중 UAV 무선 네트워크에서 접속 지연 제한에 따른 랜덤 접속 프로토콜 성능 분석

이준승*, 이예린**, 이승민*, 이호원°

Performance Analysis of Random Access Protocols According to Access Delay Bound in Multi-UAV Wireless Networks

Junseung Lee*, Yelin Lee**, Seungmin Lee*, Howon Lee°

요약

최근 다중 UAV(unmanned aerial vehicle) 네트워크에서 효율적인 데이터의 송수신을 위한 랜덤 접속 프로토콜에 대한 연구 개발이 매우 활발히 진행되고 있다. 다수의 UAV들이 함께 복잡한 임무를 수행하는 경우가 빈번히 발생하게 되므로, 이러한 경우 다수의 UAV들이 지상제어국(ground control station)으로 효율적으로 패킷을 송수신할 수 있어야 한다. 그러므로, 본 논문에서는 다중 UAV 무선 네트워크에서 효율적 패킷의 송수신을 위한 다양한 랜덤 접속 프로토콜들에 대해서 살펴본다. 또한, 매트랩 시뮬레이션을 통해 UAV들의 접속 지연 제한(access delay bound)에 따른 평균 UAV 성공 확률, 평균 패킷 전송 성공 확률, 평균 접속 지연, 평균 에너지 소비에 대한 성능 결과를 비교 분석해 본다.

키워드 : 랜덤 접속 프로토콜, 접속 지연 제한, 패킷 전송 성공 확률, 다중 UAV 무선 네트워크

Key Words : Random Access Protocol, Access Delay Bound, Packet Transmission Success Probability, Multi-UAV Wireless Network

ABSTRACT

Recently, various random access protocols for efficient data transmissions and receptions are actively investigated in multi-UAV wireless networks. As multiple UAVs perform a complex mission together frequently, these UAVs should transmit their packets to ground control stations (GCSs) efficiently. Therefore, we investigate several existing random access protocols for efficient packet transmissions and receptions in multi-UAV wireless networks. Specifically, through intensive Matlab simulations, we compare and discuss the performance of the random access protocols with respect to average UAV success probability, average packet transmission success probability, and average access delay according to the access delay bound of UAVs.

* 본 연구는 한경대학교 2021년도 학술연구조성비의 지원에 의한 것임.

• First Author : School of Electronic and Electrical Eng., Hankyong National University, sne4567@gmail.com, 학생회원

•• Co-First Author : School of Electronic and Electrical Eng., Hankyong National University, qkek0379@hknu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : School of Electronic and Electrical Eng., Hankyong National University, hwlee@hknu.ac.kr, 종신회원

* School of Electronic and Electrical Eng., Hankyong National University, julsin1@hknu.ac.kr, 학생회원

논문번호 : 202103-055-A-RN, Received March 9, 2021; Revised June 3, 2021; Accepted June 29, 2021

I. 서 론

초기에 군사 목적으로 이용되던 UAV (unmanned aerial vehicle)는 관련 산업의 활성화로 가격 감소와 기기의 소형화 등을 통해 급속도로 대중화되었으며, 다양한 새로운 기능들이 추가되며 통신, 물류, 농업, 방송, 치안 및 범죄예방 등 광범위한 영역으로 확대되고 있다^[4]. 또한, UAV 관련 연구 개발이 점차적 확대되는 동시에 안전 검증을 거치지 않고 제작/유통되거나, 허가받지 않은 지역에서의 불법적 운용, 불법 영상 촬영이나 개인 정보 유출 등 악의적인 목적으로 UAV가 사용되는 등 관련 기술은 여러 가지 사고 위험에 빠른 속도로 노출되어가고 있다^[5]. 따라서 다수의 UAV가 운행되는 환경에서 어떠한 임무를 수행하는 UAV인지를 알기 위하여 신속 정확하게 드론을 식별하는 기술은 매우 중요하다. 이에 따라 ADS-B(Automatic Dependent Surveillance - Broadcast)는 항공기와 지상제어국(ground control station, GCS) 사이의 효율적 식별을 위하여 ALOHA 기반 랜덤접속 기술을 사용하고 있다^[6,7].

이에 따라 본 논문에서는 UAV의 효율적 송수신 기술과 관련된 연구를 통해 구현된 저고도 소형 UAV를 위한 전송 프로토콜과 프레임이 반영된 시스템 레벨 시뮬레이션 프레임워크에 대해 소개한다. ONE-WAY 프로토콜, ONE-WAY-UR (ONE-WAY with unlimited retransmission) 프로토콜, FS-ALOHA (framed slotted-ALOHA) 프로토콜, MDFS-ALOHA (multi-cell dynamic FS-ALOHA) 프로토콜을 소개한다. 특히, UAV 전송을 위한 메시지 송수신이나 UAV의 빠른 이동성과 가변성 등 시간적 특성으로 인해 발생하는 잦은 충돌을 줄이기 위해 MDFS 프로토콜을 소개하고 그 성능을 비교 분석해 본다. 또한, 랜덤 접속 프로토콜의 성능 분석을 위해 접속 지연 제한(access delay bound) 변화에 따른 성능을 비교 분석해 본다.

II. 공중-지상 채널 모델 및 UAV 통신을 위한 랜덤 접속 프로토콜

2.1 공중-지상 채널 모델

본 논문에서는 UAV가 지상제어국으로 패킷을 전송하는 방향링크 공중-지상 통신을 고려한다^[8,9,10]. 이러한 공중의 노드(UAV)와 지상제어국 사이의 통신 특성을 나타내기 위해 본 논문에서는 공중-지상

(air-to-ground) 채널 모델을 이용한다. 두 노드 사이의 통신이 이루어지는 공간은 도심 속 환경으로 고려하며, 이를 위해 ITU-R (International Telecommunication Union-Radio Communication Sector)에서 제안하는 네 가지 도심 환경 매치 모델을 적용하였다^[11].

본 논문에서 고려하는 공중-지상 채널 모델에서 송신 노드의 신호는 LoS (Line-of-Sight)와 NLoS (None-Line-of-Sight)의 두 종류로 구분되며, 이 두 종류의 전파 신호가 수신기에 끼치는 영향이 매우 강력하기 때문에 본 논문에서는 소규모 페이딩의 영향은 무시하도록 한다^[12,13]. 또한, ITU-R에서 제안하는 LoS 확률 계산식에 매우 근사한 시그모이드 형태의 방정식으로 LoS 확률을 다음과 같이 나타낼 수 있다^[14].

$$P_{LoS} = \frac{1}{1 + \alpha \exp(-\beta[\theta - \alpha])} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{180^\circ}{\pi} \times \sin^{-1} \frac{h}{d} \quad (2)$$

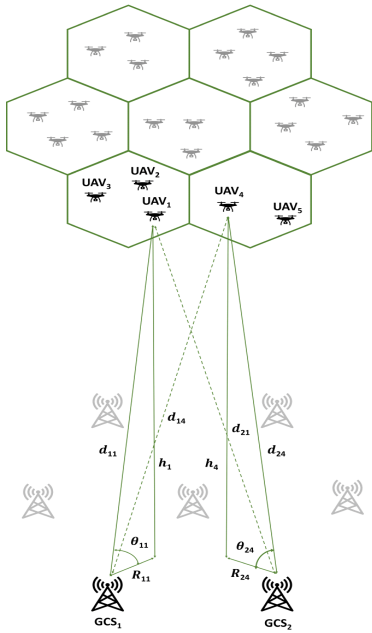
식 (1)에서 α 와 β 는 도심 환경 모델에 따른 도시 환경 파라미터를 의미하고, θ 는 UAV와 GCS 사이의 고도 각도를 나타낸다. (2)에서 h 와 d 는 각각 UAV의 고도와 UAV와 GCS사이의 직선거리를 나타내고, 이는 그림 1에서 확인할 수 있다.

본 논문에서 고려하는 도심 환경에서 전송 노드의 전파는, 진공 상태의 공간인 자유 공간에서 발생하는 자유 공간 경로 손실과 도심 속 인공 장애물인 고층 건물 등에 의해 발생하는 추가 경로 손실에 의하여 발생한다. 이에 따라, 송신 신호에 대한 경로 손실은 다음과 같이 나타낼 수 있다^[14].

$$L_{LoS} = 20 \log\left(\frac{4\pi f_c d}{c}\right) + \xi_{LoS} \quad (3)$$

$$L_{NLoS} = 20 \log\left(\frac{4\pi f_c d}{c}\right) + \xi_{NLoS} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)에서 f_c 와 c 는 각각 반송 주파수와 빛의 속도를 나타내며, ξ_{LoS} 와 ξ_{NLoS} 는 각각 LoS와 NLoS 연결에 대한 추가 경로 손실을 나타낸다. 그리고, LoS와 NLoS 연결일 확률을 평균적으로 고려한 평균 경로 손실은 다음과 같다^[14].



FS-ALOHA

MDFS-ALOHA

ONE-WAY

ONE-WAY-UR

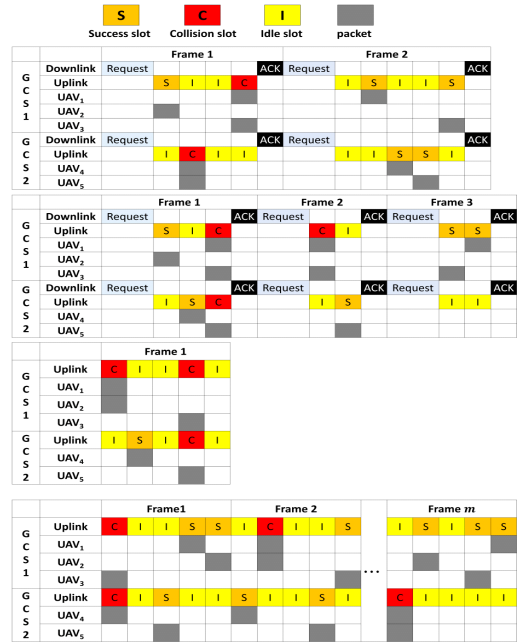


그림 1. 네트워크 배치 및 랜덤 접속 프로토콜 동작 과정
Fig. 1. Network deployment and operation procedure of random access protocols

$$L_{avr} = P_{LoS} \times L_{LoS} + P_{NLoS} \times L_{NLoS} \quad (5)$$

본 논문에서 전송 노드의 신호 세기는 평균 경로 손실만큼 감쇠되고, 이에 따라 수신 노드의 수신 전력은 다음과 같이 계산된다.

$$P_r = P_t - L_{avr} \quad (6)$$

식 (6)에서 P_t 는 송신 노드의 송신 전력을 의미한다. 다음으로, GCS와 UAV 사이의 SINR(signal to-interference-plus-noise-ratio)은 다음과 같다.

$$SINR = \frac{P_{r,d}}{\sigma^2 + \sum P_{r,i}} \quad (7)$$

식 (7)에서 $P_{r,d}$ 는 원하는 송신 노드로부터의 수신 신호를 나타내고, $P_{r,i}$ 는 원치 않는 송신 노드로부터 수신된 간섭 신호를 나타낸다.

본 연구에서 사용된 공중-지상 채널 모델은, GCS에서 UAV로의 ground-to-air (G2A) 채널이며, UAV로부터 전송된 패킷의 SINR을 계산하는 데에 사용된다. 그림 1에서와 같이, 프레임이 시작되면 GCS는 UAV들에게 패킷 전송을 요청하는 “Request” 패킷을

브로드캐스팅한다. UAV는 “Request” 패킷을 수신하면 이를 기반으로 SINR을 계산하고 본인에게 가장 높은 SINR을 제공하는 지상제어국을 주지상제어국으로 선택하게 된다. “Request” 패킷을 수신한 단말들은 지상제어국으로의 패킷 전송을 시도하게 되며, GCS는 수신받은 패킷의 SINR이 임계값 $\gamma [dB]$ 이상이면 해당 패킷을 성공한 패킷으로 간주한다. 매 프레임의 마지막에서 GCS는 성공한 UAV들의 정보를 “ACK” 슬롯을 통해 알려주게 되며, 패킷의 전송에 실패한 UAV들은 다음 프레임에서 해당 패킷 전송을 재시도하게 되고, 모든 UAV들의 패킷 전송이 성공할 때까지 성공한 단말들은 슬립 모드를 유지한다.

2.2 UAV 통신을 위한 랜덤 접속 프로토콜

Slotted-ALOHA 기반의 4가지 랜덤 접속 프로토콜들에 대해 소개한다. UAV는 GCS로 한 프레임 당 한 번 자신의 패킷을 전송하는 것으로 가정한다.

- ONE-WAY : 각 UAV는 한 번만 전송을 수행하고, 재전송은 하지 않는다. 단방향 프로토콜이기 때문에 GCS로부터 ACK를 수신하지 못한다. 즉 ONE-WAY 프로토콜에서는 각 UAV들이 자신의 패킷 전송 성공 여부를 확인할 수 없다.
- ONE-WAY-UR : 기본적으로 ONE-WAY 프로토

콜과 동일하지만, 자신의 패킷 전송 성공과 관계없이 접속 지연 제한 시간 만료 때까지 패킷 재전송을 수행한다. 따라서 ONE-WAY 대비 패킷 전송 성공 확률은 높고 전력소비는 크다.

- FS-ALOHA : 그림 1과 같이 프레임은 “Request” 슬롯, “Response” 슬롯, “ACK” 슬롯으로 구성되어 있다. FS-ALOHA 프로토콜의 경우, 고정된 개수의 “Response” 슬롯을 가지고 있으며, 한 프레임이 종료되면 다음 프레임에서는 패킷 전송에 실패한 UAV들만 재전송을 수행하게 된다. UAV들은 최대 재전송 횟수가 될 때까지 전송을 수행하거나 접속 지연 제한 시간이 만료되면 해당 패킷의 전송을 마친다^[15].
- MDFS-ALOHA : MDFS-ALOHA 프로토콜의 프레임은 기본적으로 FS-ALOHA 프로토콜과 동일한 구조를 가지고 있지만, “Response” 슬롯의 개수를 정하는 데 있어서 GCS가 cross-link 간섭을 제거하기 위해서 인접 셀들에서 패킷 전송을 수행해야하는 UAV의 개수를 고려하여 종합적으로 결정한다.

III. 시뮬레이션 결과 분석

3.1 시뮬레이션 환경 및 파라미터

본 논문에서 사용한 시뮬레이션 파라미터는 표 1에 요약되어 있다. Environmental deployment는 [11]에서 제안하는 suburban, urban, dense urban, highrise urban을 구분되어 있으며, number of iterations은 시뮬레이션 반복 횟수를 나타낸다. 이 때 한 번의 iteration이 끝나는 조건은 모든 UAV들이 전송에 성공하거나, 제한된 접속 지연 제한 혹은 최대 재전송 제한에 도달하는 경우이다. 또한, 한 프레임은 여러 타임 슬롯들로 구성되어 있으며, 이 때 슬롯의 길이 (Slot Length)는 50ms로 가정하였다. 또한, GCS Spacing는 GCS간 거리를 의미하며, 이 거리는 200m로 가정하였다. 그리고 tx power consumption, rx power consumption과 wait power consumption을 통해서 각각 UAV의 송신 전력, 수신 전력, 대기 전력을 정의하였다. Max. number of retxs.은 UAV당 최대 재전송 횟수를 의미한다.

FS-ALOHA 프로토콜에서 “Request” 슬롯, “Response” 슬롯, “ACK” 슬롯의 개수는 각각 2개, 7개, 1개로 가정하였다. MDFS-ALOHA 프로토콜의 경우에는 “Request” 슬롯, “ACK” 슬롯의 개수는 FS-ALOHA 프로토콜과 동일하나, “Response” 슬롯

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Number of Iterations	1000
Carrier Frequency (GHz)	3
Number of UAVs per Cell	7
Slot Length (ms)	50
GCS Spacing (m)	200
Tx/Rx/Wait Power Consump. (W)	1/0.2/0.1
SINR Outage Threshold (dB)	0
Max. Number of Retxs.	3
# of Req./Res./ACK Slots	2/7/1

의 개수는 자신과 인접 셀들의 액티브 사용자 수를 고려하여 적응적으로 결정된다. 본 논문에서는 4 GCSs, 7 GCSs 시뮬레이션 시나리오에 대해서 접속 지연 제한에 따른 각 프로토콜의 평균 드론 성공 확률 (average drone success probability) 및 평균 접속 지연 (average access delay) 및 평균 에너지 소비 (average power consumption)를 평가지표로 하여 결과를 비교 분석한다. 평가지표의 정의는 다음과 같다.

- 평균 드론 성공 확률 = 전체 드론 개수에 대한 한 iteration 동안 식별된 드론의 개수
- 평균 접속 지연 : 모든 드론에 대한 식별이 성공할 때까지의 평균 소요 시간
- 평균 에너지 소비 : 드론의 평균 송신전력, 평균 수신전력과 평균 대기전력의 합

3.2 접속 지연 제한에 따른 시뮬레이션 결과 분석

그림 2에서 4 GCSs의 경우 같이, ONE-WAY 프로토콜은 한 번의 전송 후 재전송을 수행하지 않기 때문에 드론 접속 지연 제한 시간 변화에 따른 평균 드론 성공 확률은 17%로 다른 프로토콜에 비해 가장 낮은 성능 결과를 가지는 것을 확인할 수 있다. 또한, ONE-WAY-UR 프로토콜은 접속 지연 제한의 시간 내에서 제한없이 재전송을 수행하는 프로토콜이므로 접속 지연 제한이 증가함에 따라 평균 드론 성공 확률이 약 73%까지 점차적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. FS-ALOHA 프로토콜은 평균 드론 성공 확률이 약 90%까지 증가하는 모습을 볼 수 있다. 단 한 프레임의 길이가 500(ms)이고 최대 재전송의 횟수가 3회이기 때문에 평균적으로 최대 재전송이 끝나는 지점인 2000(ms) 정도부터 평균 드론 성공 확률이 증가하지 않고 수렴하는 것을 볼 수 있다. 또한, MDFS-ALOHA 프로토콜의 경우 재전송시 ID

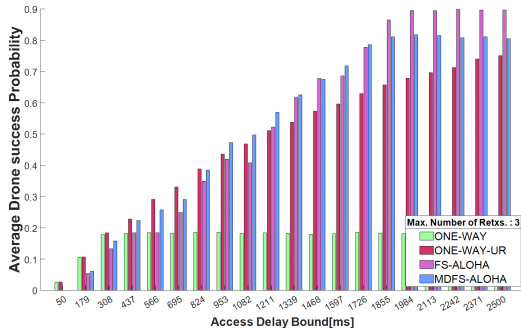


그림 2. 4 GCS 시나리오에서 접속 지연 제한 시간 변화에 따른 평균 드론 성공 확률
 Fig. 2. Average drone success probability vs. access delay bound in 4 GCS scenario

response slot이 가변적이기 때문에 평균 드론 성공 확률이 81%까지 증가하되 최대 재전송이 끝나는 지점인 1855(ms) 정도부터 평균 드론 성공 확률이 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이러한 이유로 FS-ALOHA 프로토콜보다 평균 드론 성공 확률이 낮아지게 되는 것을 확인할 수 있다. FS-ALOHA 프로토콜과 MDFS-ALOHA 프로토콜은 ONE-WAY-UR 프로토콜에 비해 상대적으로 패킷의 충돌 횟수가 적기 때문에 접속지연 제한 시간의 증가에 따라 평균 드론 성공 확률이 더 빠르게 상승한다.

그림 3의 7 GCSs의 경우에도 그림 2의 경우와 같이 ONE-WAY 프로토콜은 접속 지연 제한 시간 변화에 따른 평균 드론 성공 확률은 6%로 다른 프로토콜에 비해 가장 낮은 성능 결과를 가지는 것을 확인할 수 있다. ONE-WAY-UR 프로토콜은 36%, FS-ALOHA 프로토콜은 34%, MDFS-ALOHA 프로토콜에서는 51%로 평균 드론 성공 확률이 점차적으

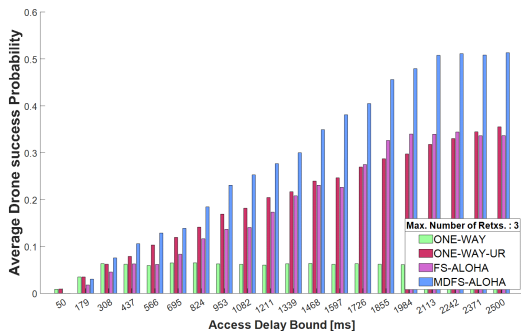


그림 3. 7 GCS 시나리오에서 접속 지연 제한 시간 변화에 따른 평균 드론 성공 확률
 Fig. 3. Average drone success probability vs. access delay bound in 7 GCS scenario

로 증가하는 결과가 나타나지만, GCS 개수의 증가로 많아진 간섭량 때문에, 4 GCSs 시나리오에 비해 전반적으로 모든 프로토콜의 평균 드론 성공 확률이 감소하는 결과가 나타난다. 또한, FS-ALOHA 프로토콜의 경우 재전송이 진행되면서 식별되는 UAV가 증가함에 프레임 내 충돌 확률이 감소하지만, MDFS-ALOHA 프로토콜의 경우에는 ID response slot의 수가 함께 감소하기 때문에 충돌 확률이 크게 감소하지 않는다. 따라서 전체 UAV의 수가 동일한 경우, MDFS-ALOHA 프로토콜의 드론 성공 확률이 FS-ALOHA 프로토콜에 비해 낮은 결과를 초래한다.

그림 4에서 ONE-WAY와 ONE-WAY-UR은 프로토콜의 특성에 따라 최대 재전송 횟수에 영향을 받지 않기 때문에 드론 성공 확률이 각각 18%, 75%로 최대 재전송 횟수가 3인 그림 2와 매우 유사한 결과를 보인다. FS-ALOHA 프로토콜과 MDFS-ALOHA 프로토콜은 그림 2와 비교했을 때 평균 드론 성공 확률이 각각 8%, 15%로 증가함을 알 수 있다. MDFS-ALOHA의 프레임 길이가 FS-ALOHA보다 짧기 때문에 재전송 횟수가 많아져 더 많은 증가폭을 보이는 것을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6를 통해 ONE-WAY 프로토콜을 제외한 ONE-WAY-UR 프로토콜, FS-ALOHA 프로토콜, MDFS-ALOHA 프로토콜의 경우 접속 지연 제한이 증가함에 따라 UAV 전송 성공에 대한 지연 시간이 증가함을 확인할 수 있다. 또한, 지연 시간에 대한 평균값은 표 2에 요약되어 있다. MDFS-ALOHA 프로토콜은 재전송 시 인접 GCSs의 액티브 UAV 수를 고려하여 ID response slots을 할당하기 때문에, FS-ALOHA 프로토콜에 비해 평균적으로 낮은 지연 시간을 가진다.

또한, 표 3의 결과를 통해 접속 지연 제한 시간이

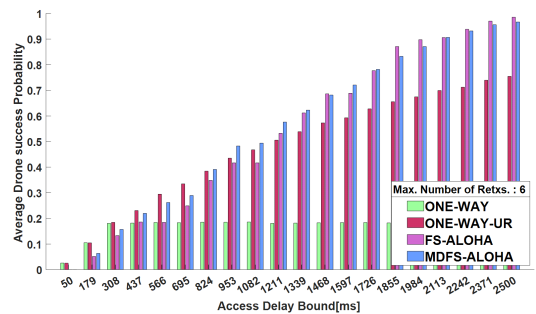


그림 4. 4 GCS 시나리오에서 최대 재전송 횟수 증가에 따른 평균 드론 성공 확률
 Fig. 4. Avg. drone success prob. vs. access delay bound in 4 GCS scenario

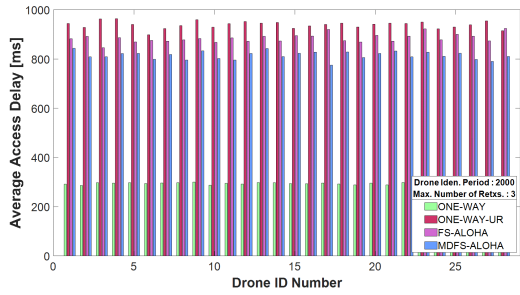


그림 5. 4 GCS 시나리오에서 접속 지연 제한 = 1500(ms) 일 때, 평균 접속 지연 결과

Fig. 5. Average access delay when access delay bound = 1500ms and number of GCSs = 4

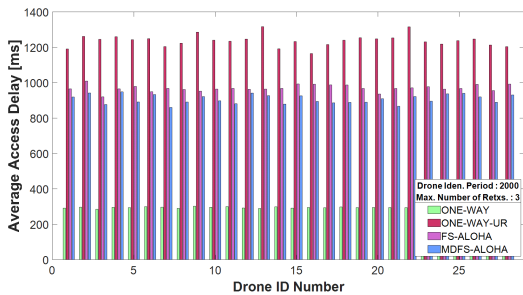


그림 6. 4 GCS 시나리오에서 접속 지연 제한 = 2500(ms) 일 때, 평균 접속 지연 시뮬레이션 결과

Fig. 6. Average access delay when access delay bound = 2500ms and number of GCSs = 4

표 2. 4 GCS 시나리오에서 접속 지연 제한 변화에 따른 평균 접속 지연 변화

Table 2. Average access delay according to access delay bound

Protocol	Access Delay Bound	
	1500(ms)	2500(ms)
ONE-WAY	294.76ms	295.13ms
ONE-WAY-UR	939.09ms	1238.29ms
FS-ALOHA	885.1ms	969.58ms
MDFS-ALOHA	814.72ms	907.5ms

표 3. 접속 지연 제한 변화에 따른 평균 소비 전력 변화

Table 3. Average power consumption according to access delay bound

Protocol	Access Delay Bound	
	1500(ms)	2500(ms)
ONE-WAY	1.600W	1.600W
ONE-WAY-UR	6.858W	11.428W
FS-ALOHA	6.048W	10.305W
MDFS-ALOHA	5.968W	9.753W

증가하면 전체 UAV의 소비 전력 또한 증가하는 것을 알 수 있다. 각 프로토콜간의 소비전력은 ONE-WAY-UR이 가장 크고 그 뒤로 FS-ALOHA와 MDFS-ALOHA가 비슷하며, MDFS-ALOHA가 FS-ALOHA에 비해 소비 전력이 적음을 확인할 수 있다. ONE-WAY의 경우에는 단 한 번 전송 하는 특성 때문에, 접속 지연 제한이 증가해도 소비 전력은 변하지 않고 4개의 프로토콜 중 가장 적은 소비 전력을 가짐을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 시뮬레이터를 통해 구현된 4개의 프로토콜들(ONE-WAY 프로토콜, ONE-WAY-UR 프로토콜, FS-ALOHA 프로토콜, MDFS-ALOHA 프로토콜)에 대해 소개하고 공중-지상 (air-to-ground) 채널 환경에서 패킷 전송의 효율성을 비교하기 위해 성능 결과에 가장 큰 영향을 미치는 주요 파라미터 중 하나인 접속 지연 제한에 따른 랜덤 접속 프로토콜의 평균 드론 성공 확률, 평균 접속 지연, 평균 에너지 소비에 대한 성능을 살펴보았다. 접속 지연 제한 시간이 증가에 따른 프로토콜 별 성능이 달라지는 것을 통해서 각 시나리오 별로 가장 효율적인 프로토콜이 무엇인지 확인할 수 있다. 향후 드론의 이동성을 고려한 상황에 대한 프로토콜의 성능 연구를 추가적으로 수행할 계획이다.

References

- [1] S. Lim et al., "RE-ORA: residual energy-aware online random access for improving the lifetime of slotted ALOHA-based swarming drone networks," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 45504-45511, Mar. 2021.
- [2] N. Hyung et al., "Performance analysis of random access protocols according to GCS deployment in multi-UAV wireless network," *The Journal of KICS*, vol. 46, no. 06, pp. 965-973, Jun. 2021.
- [3] 6G Flagship, "Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence," *6G Research Visions 1*, pp. 1-36, Sep. 2019.
- [4] H. Yu et al., "What is 5G? emerging 5G mobile services and network requirements,"

MDPI Sustainability, vol. 9, pp. 1-22, Oct. 2017.

[5] S. Yoo, "Safety and legal problems related to the popularization of drones," *J. Legislation Res.*, no. 51, pp. 241-282, Dec. 2016.

[6] Y. S. Kim, "Next generation aeronautical surveillance system using SBAS1: ADS-B2," *Korea Aerospace Res. Inst.*, Dec. 2018.

[7] R. Pryt et al., "A simulation of signal collisions over the North Atlantic for a spaceborne ADS-B receiver using aloha protocol," *Positioning*, vol. 6, no. 3, pp. 23-31, 2015.

[8] X. Fu et al., "Joint UAV channel modeling and power control for 5G IoT networks," *EURASIP J. Wireless Commun. and Netw.*, vol. 2021, no. 106, pp. 1-15, Apr. 2021.

[9] Z. Yin et al., "Uplink performance analysis of UAV user equipments in dense cellular networks," *IEEE ICC*, pp. 1-7, 2019.

[10] S. Kandeepan et al., "Aerial-terrestrial communications: Terrestrial cooperation and energy-efficient transmissions to aerial base stations," *IEEE Trans. Aerospace and Electr. Syst.*, vol. 50, no. 4, pp. 2715-2735, Oct. 2014.

[11] S. Lee et al., "Multi-agent Q-learning based multi-UAV wireless networks for maximizing energy efficiency: deployment and power control strategy design," *IEEE Internet Things J.*, Sep. 2021.

[12] Q. Feng et al., "Path loss models for air-to-ground radio channels in urban environments," *IEEE VTC*, vol. 6, pp. 2901-2905, May 2006.

[13] S. Lee and H. Lee, "Distributed q-learning based UAV-BS control for maximizing network energy efficiency in air-to-ground communications," *Proc. Symp. KICS*, Aug. 2020.

[14] A. Al-Hourani et al., "Optimal LAP altitude for maximum coverage," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 3, no. 6, pp. 569-572, Dec. 2014.

[15] D. K. Klair et al., "A survey and tutorial and RFID anti-collision protocols," *IEEE Commun. Surv. Tuts.*, vol. 12, no. 3, pp. 400-421, Apr. 2010.

이 준 승 (Junseung Lee)



2016년 2월~현재 : 한경대학교
전기전자제어공학과 학석사
연계과정
<관심분야> 6G 무선 통신, 인공
지능 기반 통신

이 예 린 (Yelin Lee)



2017년 2월~현재 : 한경대학교
전기전자제어공학과 학석사
연계과정
<관심분야> 6G 무선 통신, 인공
지능 기반 통신

이 승 민 (Seungmin Lee)



2021년 2월 : 한경대학교 전기전
자제어공학과 졸업
2021년 3월~현재 : 한경대학교
전자전기공학부 석사과정
<관심분야> B5G/6G 무선 통신,
고밀집 분산 네트워크, 강화학
습기반 UAV 네트워크

이 호 원 (Howon Lee)



2003년 2월 : KAIST 전자전산
학과 졸업
2009년 8월 : KAIST 전기 및 전
자공학과 박사 (석박사통합)
2009년 6월~2012년 2월 : KAIST
ITC 연구조교수/팀장

2012년 3월~2021년 2월 : KAIST 겸직교수
2012년 3월~현재 : 국립한경대학교 전자전기공학부 전
자공학전공 교수
<관심분야> 5G/6G 모바일 네트워크, 무선자원관리, 드
론 통신, 머신러닝기반 통신 네트워크
[ORCID:0000-0001-5509-9202]