

다중 UAV 무선 네트워크에서 지상 제어국 배치에 따른 랜덤 접속 프로토콜 성능 분석

형 남 훈*, 김 진 술*, 이 승 민**, 이 호 원^o

Performance Analysis of Random Access Protocols According to GCS Deployment in Multi-UAV Wireless Networks

Namhun Hyung*, Jinsol Kim*, Seungmin Lee**, Howon Lee^o

요 약

최근 UAV (unmanned aerial vehicle) 통신 네트워크에 대한 수요가 급증하고 있으며 이에 대한 연구 개발도 매우 활발히 진행되고 있다. 특히, 복잡한 임무를 수행하기 위해 한 대의 UAV가 아닌 다수의 UAV들이 함께 임무를 수행하는 경우가 빈번히 발생하게 되는데 이러한 경우에 다수의 UAV들이 지상제어국 (ground control station)과 효율적으로 패킷을 송수신할 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 다중 UAV 무선 네트워크에서 패킷의 송수신을 위해 사용될 수 있는 다양한 랜덤 접속 프로토콜들을 살펴보고, 시뮬레이션을 통해 지상제어국의 배치에 따른 평균 드론 성공 확률, 평균 패킷 전송 성공 확률, 평균 접속 지연, 평균 전력 소비에 대한 성능 결과를 비교 분석해 본다.

키워드 : 랜덤 접속 프로토콜, 지상제어국 배치, 다중 UAV 무선 네트워크

Key Words : Random Access Protocol, Ground Control Station Deployment, Multi-UAV Wireless Network

ABSTRACT

Recently, the demand for multi-UAV (unmanned aerial vehicle) wireless network is rapidly increasing, and this is also very actively investigated. In particular, in order to perform a complicated mission, it frequently occurs that multiple UAVs perform a mission together. In this case, multiple UAVs should efficiently transmit and receive packets with ground control stations (GCSs). Therefore, in this paper, we introduce several random access protocols that can be used for packet transmission and reception in multi-UAV wireless networks. Through intensive simulations, we compare and discuss the performance of the protocols with respect to average UAV success probability, average successful packet transmission probability, average access delay, and average power consumption according to the deployment of GCSs.

※이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1F1A1063606).

• First Author : School of Electronic and Electrical Engr., Hankyong National University, nhyung@hknu.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : School of Electronic and Electrical Engr., Hankyong National University, hwlee@hknu.ac.kr, 중신회원

* School of Electronic and Electrical Engr., Hankyong National University, jk120926@gmail.com, 학생회원

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

논문번호 : 202102-031-B-RN, Received February 3, 2021; Revised March 16, 2021; Accepted March 19, 2021

I. 서론

최근 6G, 인공지능, 사물인터넷, 스마트팩토리 등과 같이 4차 산업 혁명에서의 핵심기술들 중 하나인 UAV (unmanned aerial vehicle) 통신 기술이 발전함에 따라 레저용, 군사용 활용을 넘어서 현재는 유통, 교통관제, 보안, 재난방지용 등으로 그 활용 분야가 광범위하게 증가하고 있다^{1,2}. 2014년부터 구글, 페이스북과 같은 글로벌 기업들도 UAV 산업 관련 시장에 적극 진출하고 있다. 이처럼 UAV는 레저용을 넘어 글로벌 산업 전반에 걸쳐 민간 산업·유통 시장에 큰 변화를 가져올 것으로 예상되고 있다^{3,4,5}.

UAV가 작전 지역에서 작전을 수행함에 있어서 한 대의 UAV가 넓은 지역과 복잡한 작전을 수행하는 것에 있어서 하드웨어적인 한계를 가지고 있기 때문에 다수의 UAV들이 함께 작전을 수행하는 것이 필요하다. 이렇게 할 경우, 한 대의 무인 대형 항공기의 임무를 다수의 소형 UAV들이 분산하여 수행함으로써, 임무에 대한 전체적인 시스템의 안정성과 효율성을 더 높일 수 있다. 이러한 이유로 다수의 소형 UAV들의 군집비행과 관련된 많은 연구들이 활발히 진행되고 있다^{6,7}. [8]에서는 다수의 UAV가 동일 임무를 위해 함께 운용되는 시스템에서 각각의 UAV간 시스템 시간의 오차를 개선하기 위한 시간동기화 솔루션에 대한 연구를 수행하였다.

다수의 소형 UAV들이 각자의 임무를 수행하도록 편대를 운영하기 위해서는 UAV와 지상제어국 (GCS, Ground Control System)간 임무에 최적화된 통신 프로토콜이 요구된다. [9]에서 GCS는 UAV의 비행 상태 정보를 모니터링 할 수 있는 기능 이외에도 실제 UAV에 다중 비행경로 설정 및 임무 정보를 전달하는 중요한 기능을 담당한다. ADS-B(Automatic Dependent Surveillance - Broadcast) 기술은 항공기 위치 식별 및 모니터링을 위해 제안된 시스템으로, 항공기와 항공기, 항공기와 GCS 간 데이터를 공유하기 위하여 ALOHA 기반의 랜덤 접속 프로토콜을 사용하고 있다^{10,11}. 또한, UAV의 미세한 움직임을 조종하거나 긴급 상황에 대처하는 등 복잡하고 짧은 시간 내에 GCS와 UAV의 연결이 불안정할 경우 추적 성능 저하뿐만 아니라 안전에도 문제가 발생할 수도 있다. 실제로 DoS (Denial of Service) 공격, 블랙홀공격, MAVLink (Micro Air Vehicle Link) 프로토콜 취약점 공격과 같은 네트워크 공격에 대한 무인기 제어와 임무 수행 여부를 통한 위험성 연구도 최근 진행되었다¹². 이러한 내용들을 토대로, 본 논문에서는 GCS와

UAV 사이의 무선 연결성과 관련된 연구를 수행하고자 한다¹³.

이를 위해, 본 논문에서는 slotted-ALOHA 기반 4가지 랜덤 접속 프로토콜의 성능을 분석한다. ITU-R (International Telecommunication Union-Radio Communication Sector) [14]에서 제안하는 4가지 도심 환경 배치 모델 (urban environment deployment model)에 대한 시뮬레이션을 통해 각각의 랜덤 접속 프로토콜에서 인접한 GCS 간 거리에 따른 드론 전송 성공 결과를 살펴본 후, 성능 비교를 통한 최적의 프로토콜로 GCS와 비행 중인 UAV간의 연결이 이전보다 정확하고 신속하게 이루어지는 것을 확인하고자 한다.

II. A2G(air-to-ground) 채널 모델 및 UAV 통신을 위한 랜덤 접속 프로토콜

2.1 A2G 채널 모델

본 논문에서는 UAV들이 GCS로 랜덤 접속을 통해 패킷을 전송하는 상향링크 상황을 고려한다. 이를 위해, 공중-지상 채널 모델을 이용하여 GCS와 UAV 사이의 통신 특성을 나타낸다. 또한, 두 노드 사이의 통신이 이루어지는 공간을 도심 환경으로 고려하며, 이를 위해 ITU-R의 4가지 도심 환경 배치 모델을 이용한다. 이러한 도심 공간에서, 전송 노드에 의해 발생하는 신호는 LoS (Line of Sight)와 NLoS (None-LoS) 두 종류의 신호로 구분되며, [15]에서 제안하는 LoS 확률은 다음과 같다.

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

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

수식 (1)에서 α 와 β 는 도심 환경 모델에 따른 환경 파라미터이고, θ 는 UAV와 GCS사이의 고도 각도를 의미한다. 또한, 수식 (2)에서 h 와 d 는 각각 UAV의 고도와 UAV와 GCS사이의 직선거리를 나타내며 이와 같은 물리적 파라미터는 그림 1에 정리되어 있다.

본 논문에서 고려하는 도심 환경에서 전송 노드의 전파의 경로 손실 모델은, 특정 장애물에 의한 방해가 없는 자유 공간에서 발생하는 자유 공간 경로 손실 (free space path loss)과 도심 속 인공 장애물인 고층 건물에 의해 발생하는 추가 경로 손실을 모두 고려하

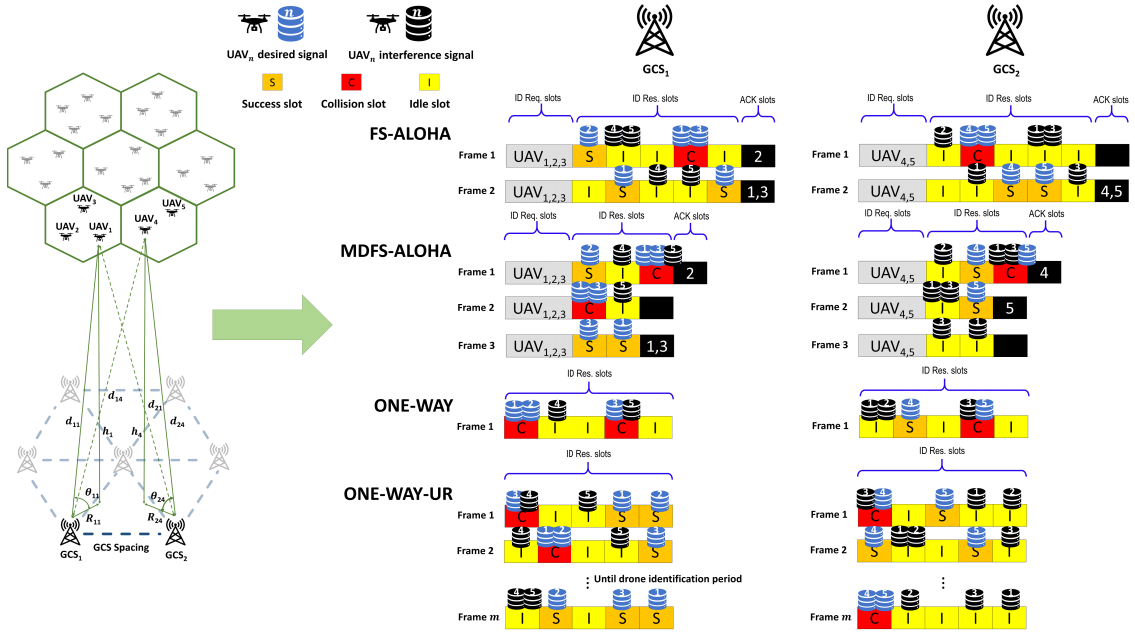


그림 1. 네트워크 배치 및 랜덤 접속 프로토콜 동작 과정
Fig. 1. Network deployment and operation procedure of random access protocols

여 다음과 같이 나타낸다 [15].

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

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

수식 (3), (4)에서 f_c 와 c 는 각각 반송 주파수와 빛의 속도를 의미하며, ξ_{LoS} 와 ξ_{NLoS} 는 각각 LoS와 NLoS 연결에 대한 추가 경로 손실을 나타낸다. 그리고 LoS와 NLoS 연결 확률을 동시에 고려하여 다음과 같이 평균 경로 손실을 정의한다.

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

본 논문에서 전송 노드가 송신한 신호는 LoS와 NLoS 연결 확률을 모두 고려한 수식 (5)에 의해 감소되어 수신 노드에 도착한다. 따라서, 수신 노드의 수신 전력은 다음과 같이 계산된다.

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

여기서, 수식 (6)에서 P_t 는 송신 노드의 송신 전력을 의미한다. 다음으로, UAV의 SINR (signal-to-interference-plus-noise-ratio)은 다음과 같이 정의된다.

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

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

GCS는 UAV들의 랜덤접속을 위하여 하향링크로 패킷 요청 메시지를 브로드캐스팅하고, UAV들은 모든 기지국으로부터의 브로드캐스팅 신호 중 가장 높은 SINR을 제공하는 GCS와 연결하는 것으로 고려한다. 또한, UAV가 GCS로 패킷을 전송할 때, 해당 UAV와 연결된 GCS는 수신 신호의 SINR이 SINR 임계값 ($\gamma [dB]$) 이상이면 패킷 전송이 성공된 것으로 간주하며, 임계값 미만이면 해당 패킷은 충돌된 것으로 간주한다. 여기에서, 패킷 전송의 성공 여부는 GCS가 ACK 슬롯을 통해 UAV들에게 전송하게 된다. 패킷 전송에 성공한 UAV는 모든 UAV의 패킷 전송이 성공할 때까지 슬립모드로 전환한다.

2.2 UAV 통신을 위한 랜덤 접속 프로토콜

본 논문에서는 저고도 소형 UAV 랜덤접속 프로토콜로 ONE-WAY 프로토콜, ONE-WAY with unlimited re-transmissions (ONE-WAY-UR) 프로토콜, framed slotted-ALOHA (FS-ALOHA) 프로토콜, multi-cell dynamic framed slotted-ALOHA (MDFS-ALOHA) 프로토콜을 고려한다. 각 프로토콜에서 성공한 UAV를 제외하고, 모든 UAV는 한 프레임 동안 최소한 한 번 전송을 수행한다. 다음은 각 프로토콜에 대한 설명이며, 구체적인 특징은 그림 1과 2에 정리되어 있다.

- (1) ONE-WAY : 한 프레임이 응답 슬롯으로만 구성되고, 각 UAV는 최대 한 번의 전송만 허용된다. 단, 드론 전송 기간에 도달하거나 모든 UAV가 최소한 한 번의 전송을 마치면 한 iteration이 종료된다. ONE-WAY 프로토콜은 재전송을 하지 않기 때문에, 한 프레임 내의 평균 드론 패킷 성공 확률이 식별 확률이 된다. 1장에서 언급한 것과 같이, ADS-B는 ONE-WAY 기반 대표적인 랜덤 접속 프로토콜인 ALOHA를 사용하여 항공기 식별 및 모니터링을 수행하고 있다^{10,11}.
- (2) ONE-WAY-UR : 한 프레임이 응답 슬롯으로만 구성되고, iteration 중에 전송 성공한 UAV를 알 수 없으며, 각 UAV는 최대 재전송 횟수의 제한이 없다. 단, 드론 전송 기간에 도달하면 한 iteration이 종료된다. ONE-WAY-UR은 ONE-WAY와 비교했을 때 최대 재전송 횟수에 제한이 없고 드론 전송 기간에 도달하면 하나의 iteration이 종료되기 때문에 ONE-WAY에 비해 드론 성공확률이 높고 드론 전송기간에 도달해야지만 iteration이 종료되기 때문에 소비전력이 크다.
- (3) FS-ALOHA : 한 프레임이 ID 요청 슬롯(ID request slots), 응답 슬롯 (ID response slots), ACK 슬롯(ACK slots)으로 구성되고, 전송에 성공하지 않은 UAV만 재전송을 수행한다. 단, 모든 UAV가 성공하거나 시뮬레이터에서 제공되는 최대 재전송 횟수 또는 드론 전송 기간에 도달하면 한 iteration이 종료된다. FS-ALOHA의 경우 성공한 UAV를 알 수 없는 ONE-WAY-UR에 비해 드론 성공 확률이 높으며 최대 재전송 횟수와 드론 전송 기간에 도달하지 않더라도 모든 UAV가 성공하면 iteration이 종료되므로 ONE-WAY-UR에 비해 소비전력이 적다¹⁶. FS-ALOHA 프로토콜의 이러한 특성을 이용하여 RFID 시스템에서는 여러 개의 디바이스들에 대한 식별 및 패킷 송수

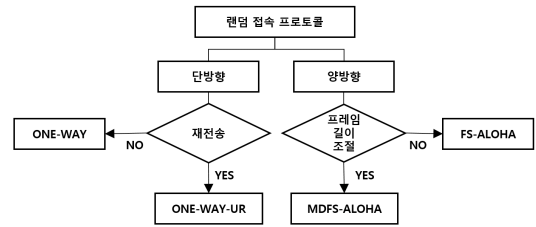


그림 2. 랜덤 접속 프로토콜 분류
Fig. 2. Classification of random access protocol

신을 수행하고 있다¹⁷.

- (4) MDFS-ALOHA : 한 프레임이 ID 요청 슬롯, 응답 슬롯, ACK 슬롯으로 구성되고, 응답 슬롯의 수는 기지국 당 성공하지 않은 UAV의 최대 개수만큼 할당되며, 성공하지 않은 UAV만 재전송을 수행한다. 단, 모든 UAV가 전송 성공하거나 시뮬레이터에서 제공되는 최대 재전송 횟수 또는 드론 전송 기간에 도달하면 한 iteration이 종료된다. 응답슬롯의 수가 성공하지 않은 UAV의 최대 개수만큼 할당되기 때문에 응답슬롯의 수가 변하지 않는 FS-ALOHA에 비해 다음 프레임의 UAV의 성공확률이 크게 증가한다.

III. 시뮬레이션 결과 분석

3.1 시뮬레이션 환경

ITU-R에서 정의하는 4가지 environmental deployment models에는 suburban, urban, dense urban, highrise urban 모델이 있다. 본 논문에서는 모든 UAV가 전송 성공하거나, 제한된 드론 전송 시간에 도달하거나, 모든 UAV가 최대 재전송 제한 조건에 도달하는 경우를 하나의 iteration으로 간주한다.

여기서, GCS spacing은 인접 GCS 간 거리이며, tx power consumption과 rx power consumption는 각각 UAV의 송신 소비전력, UAV의 수신 소비전력이고 wait power consumption는 UAV의 대기 상태에서의 소비전력이다. 또한, SINR outage threshold는 UAV의 패킷 성공 여부를 결정짓는 SINR 아웃티지 임계값 (γ)이고 maximum number of re-transmissions는 UAV의 최대 재전송 횟수를 의미한다. UAV transmission period는 UAV 전송 성공을 위한 최대 제한 시간을 의미한다. # of ID request slots는 기지국이 전송하는 전송 요청 메시지가 차지하는 슬롯의 개수, # of ID response slots는 UAVs가 패킷을 전송하는데 사용 가능한 슬롯의 개수, # of ID ACK slots

표 1. 시뮬레이션 변수
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Figure
Environmental deployment	Suburban
Number of iterations	1000
Carrier frequency(Ghz)	3
Slot length (ms)	50
Number of cells	7cells
GCS spacing (m)	200 ~ 800
Tx power consumption (W)	1
Rx power consumption (W)	0.2
WAIT power consumption (W)	0.1
SNIR outage threshold (dB)	0
Maximum number of re-transmissions	3
UAV transmission period (ms)	2000
# of ID request slots	2
# of ID response slots	5
# of ID ACK slots	1

는 기지국의 ACK 메시지가 차지하는 슬롯의 개수를 의미하며, ACK에는 성공한 UAV의 ID 정보가 포함된다.

3.2 지상 제어국 배치에 따른 성능 결과 분석

여기에서는 지상 제어국 배치에 따른 UAV 통신 시뮬레이션 결과를 분석하고 저고도 소형 UAV 랜덤 접속 프로토콜들에 대해 7cells 시나리오에서 인접 GCSs간 거리를 200(m), 300(m), 400(m), 600(m), 700(m), 800(m)으로 변경해가며 시뮬레이션을 진행하였다.

본 시뮬레이터에서 UAV의 위치 분포는 GCSs의 위치에 따라 달라진다. 표 2는 인접 GCSs간 거리가 변화함에 따른 각 프로토콜의 평균 드론 성공 확률이 정리되어 있으며, 거리가 200(m), 300(m), 400(m)로 증가함에 따라 모든 프로토콜에서 평균 드론 성공 확률이 높아지는 것을 알 수 있다. 또한, GCSs 간 거리가 증가할수록 각 셀에 커버되는 UAV끼리의 간격이 넓어지고, 이에 따라 간섭 신호의 세기가 약해지면서 패킷 충돌이 감소하게 된다. 따라서 기지국 간 거리가 증가할수록 평균 드론 성공 확률이 높아지는 것을 알 수 있다. GCS 간 거리가 일정 수준을 넘어가게 되면, 이웃 기지국 내의 UAV로부터의 간섭 신호가 같은 기지국 내의 UAV로부터의 간섭 신호에 비해 극도로 작아지므로, 이 수준 이상에서 이웃 기지국으로부터의 간섭 신호는 무시할 수 있을 정도로 작아지고 한 기지

표 2. 기지국 거리 변화에 따른 각 프로토콜의 평균 UAV 성공 확률

Table 2. Average UAV success probability for each protocols according to GCS deployment

Average UAV success probability			
Protocol	GCS spacing		
	200(m)	300(m)	400(m)
ONE-WAY	6.09(%)	27.79(%)	44.85(%)
ONE-WAY-UR	38.46(%)	87.50(%)	98.97(%)
FS-ALOHA	33.81(%)	97.53(%)	99.86(%)
MDFS-ALOHA	56.80(%)	92.93(%)	98.50(%)

Average UAV success probability			
Protocol	GCS spacing		
	600(m)	700(m)	800(m)
ONE-WAY	60.74(%)	60.77(%)	60.65(%)
ONE-WAY-UR	99.68(%)	99.74(%)	99.60(%)
FS-ALOHA	100.00(%)	100.00(%)	100.00(%)
MDFS-ALOHA	99.91(%)	99.94(%)	99.94(%)

국 내의 패킷 성공 확률에 영향을 끼치는 간섭 신호는 같은 기지국 내의 UAV의 전송 신호만 남게 된다. 거리가 600(m), 700(m), 800(m)로 증가함에 따라 ONE-WAY를 제외한 다른 3가지 프로토콜의 평균 드론 성공 확률은 100(%)에 근사한다. ONE-WAY 프로토콜은 재전송을 하지 않기 때문에, 한 프레임 내의 평균 드론 패킷 성공 확률이 평균 드론 성공 확률이 되므로, 600(m)이상부터 GCS 간 거리 증가에 따른 평균 드론 성공 확률은 60(%)로 일정하게 유지되는 것을 표 2를 통해 확인할 수 있다.

표 3은 인접 GCSs간 거리가 변화함에 따른 각 프로토콜의 평균 패킷 전송 성공 확률이 요약되어 있으며, 거리가 200(m), 300(m), 400(m)로 증가함에 따라 모든 프로토콜에서 평균 패킷 전송 확률이 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 언급했듯이, GCSs간의 거리가 증가함에 따라 간섭 신호의 세기 감소로 패킷 충돌의 수가 감소하기 때문에, 평균 패킷 전송 성공률이 증가했고, 이는 표 3을 통해 확인할 수 있다. 또한, 표 4는 인접 GCSs간 거리가 변화함에 따른 각 프로토콜의 평균 지연 시간이 요약되어 있다. 여기에서, GCSs간의 거리가 증가함에 따라 평균 드론 성공 확률이 높아지면 드론 전송 기간 내에 성공한 UAV들이 다수 존재하게 된다. 그러므로 거리가 증가함에 따라 평균 전송 성공 시간 또한 줄어드는 것을 표 4를 통해 알 수 있다.

표 5는 인접 GCSs간 거리가 변화함에 따른 각 프

표 3. 기지국 거리 변화에 따른 각 프로토콜의 평균 패킷 성공 확률
 Table 3. Average successful packet transmission prob. for each protocols according to GCS deployment

Average successful packet transmission probability			
Protocol	GCS spacing		
	200(m)	300(m)	400(m)
ONE-WAY	6.09(%)	27.61(%)	44.85(%)
ONE-WAY-UR	6.10(%)	27.42(%)	98.97(%)
FS-ALOHA	18.40(%)	55.44(%)	99.86(%)
MDFS-ALOHA	31.73(%)	54.40(%)	98.50(%)

표 4. 기지국 거리 변화에 따른 각 프로토콜의 평균 전송 성공 시간
 Table 4. Average access delay for each protocols according to GCS deployment

Average access delay			
Protocol	GCS spacing		
	200(m)	300(m)	400(m)
ONE-WAY	237.81(ms)	194.77(ms)	160.22(ms)
ONE-WAY-UR	1557.70(ms)	711.02(ms)	360.85(ms)
FS-ALOHA	1528.32(ms)	572.62(ms)	348.49(ms)
MDFS-ALOHA	1231.24(ms)	586.90(ms)	347.14(ms)

표 5. 기지국 거리 변화에 따른 각 프로토콜의 평균 소비 전력량
 Table 5. Average power consumption for each protocols according to GCS deployment

Average power consumption			
Protocol	GCS spacing		
	200(m)	300(m)	400(m)
ONE-WAY	1.40(W)	1.40(W)	1.40(W)
ONE-WAY-UR	11.20(W)	11.20(W)	11.20(W)
FS-ALOHA	9.31(W)	6.86(W)	5.46(W)
MDFS-ALOHA	8.60(W)	7.20(W)	5.50(W)

프로토콜의 평균 소비 전력량이 정리되어 있으며, ONE-WAY 프로토콜에서 각 UAV는 최대 한 번의 전송만 허용되기 때문에 거리가 증가하여도 변하지 않았고, 평균 소비전력은 약 1.4(W)로 4개의 프로토콜 중에 가장 낮다. ONE-WAY-UR 프로토콜은 재전송 횟수의 제한이 없고 드론 전송 기간에만 영향을 받기 때문에 거리가 증가하여도 변하지 않고 드론 전송 기간을 모두 채우기 때문에 4개의 프로토콜 중에 평균 소비전력은 11.2(W)로 가장 높다. FS-ALOHA 프로토콜과 MDFS-ALOHA 프로토콜에서는 거리가 증

가함으로써 평균 드론 성공 확률이 높아지게 되고 전체 소비전력은 줄어들게 된다.

그림 3은 각 프로토콜에 대해 드론 전송 주기 변화와 최대 재전송 횟수 변화에 따른 드론 성공 확률을 나타낸 그래프이다. 그림 3(a), 3(b), 3(c)에서 ONE-WAY 프로토콜은 최대 재전송 횟수와 관계가 없기 때문에 제공되는 드론 전송 기간이 일정한 값을 넘으면 평균 드론 성공 확률이 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. GCSs 간의 거리가 증가함에 따라서 평균 드론 성공 확률이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

그림 3(d), 3(e), 3(f)에서 ONE-WAY-UR 프로토콜은 최대 재전송 횟수와 관계가 없고 드론 전송 기간에 큰 영향을 미치므로 드론 전송 기간이 높을수록 평균 드론 성공 확률이 증가하고 GCSs 간의 거리가 증가함에 따라 평균 드론 성공 확률이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

그림 3(g), 3(h), 3(i)에서 FS-ALOHA 프로토콜은 드론 전송 기간이 증가함에 따라 최대 재전송 횟수가 제한되므로 특정 구간 이상에서 일정하게 유지되는 것을 알 수 있고 GCSs 간의 거리가 증가함에 따라서 평균 드론 성공 확률이 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 3(j), 3(k), 3(l)에서 MDFS-ALOHA는 GCSs 간 거리가 증가함에 따라서 평균 드론 성공 확률이 증가한다. 그림 3(g), 3(j)에서 MDFS-ALOHA가 FS-ALOHA에 비해 평균 드론 성공 확률은 더 높은 것을 확인할 수 있다. 4개의 프로토콜에서 평균적으로 GCSs 간 거리가 증가함에 따라 평균 드론 성공 확률이 증가하는 것을 알 수 있었다. 주어진 환경에서 프로토콜간의 성능분석을 통해 FS-ALOHA와 MDFS-ALOHA이 높은 수치를 보였고, GCS 당 UAV의 개수가 늘어나게 되면 MDFS-ALOHA의 응답 슬롯의 수가 GCS 당 성공하지 못한 UAV의 최대 개수만큼 할당되기 때문에 FS-ALOHA보다 드론 성공 확률이 높아질 것으로 예상된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 UAV를 사용한 Air-to-Ground (A2G) 채널에서 인접한 GCS에 따른 랜덤 접속 프로토콜 시뮬레이션 결과 분석을 통해 거리에 따른 드론 전송 성공 결과를 살펴보았다. 시뮬레이션을 통해 저고도 소형 UAV 랜덤접속 프로토콜에서 평균적으로 인접 GCS 간 거리가 증가하면서 드론 성공 확률이 증가하고 패킷 전송 성공률 또한 증가하는 것을 확인

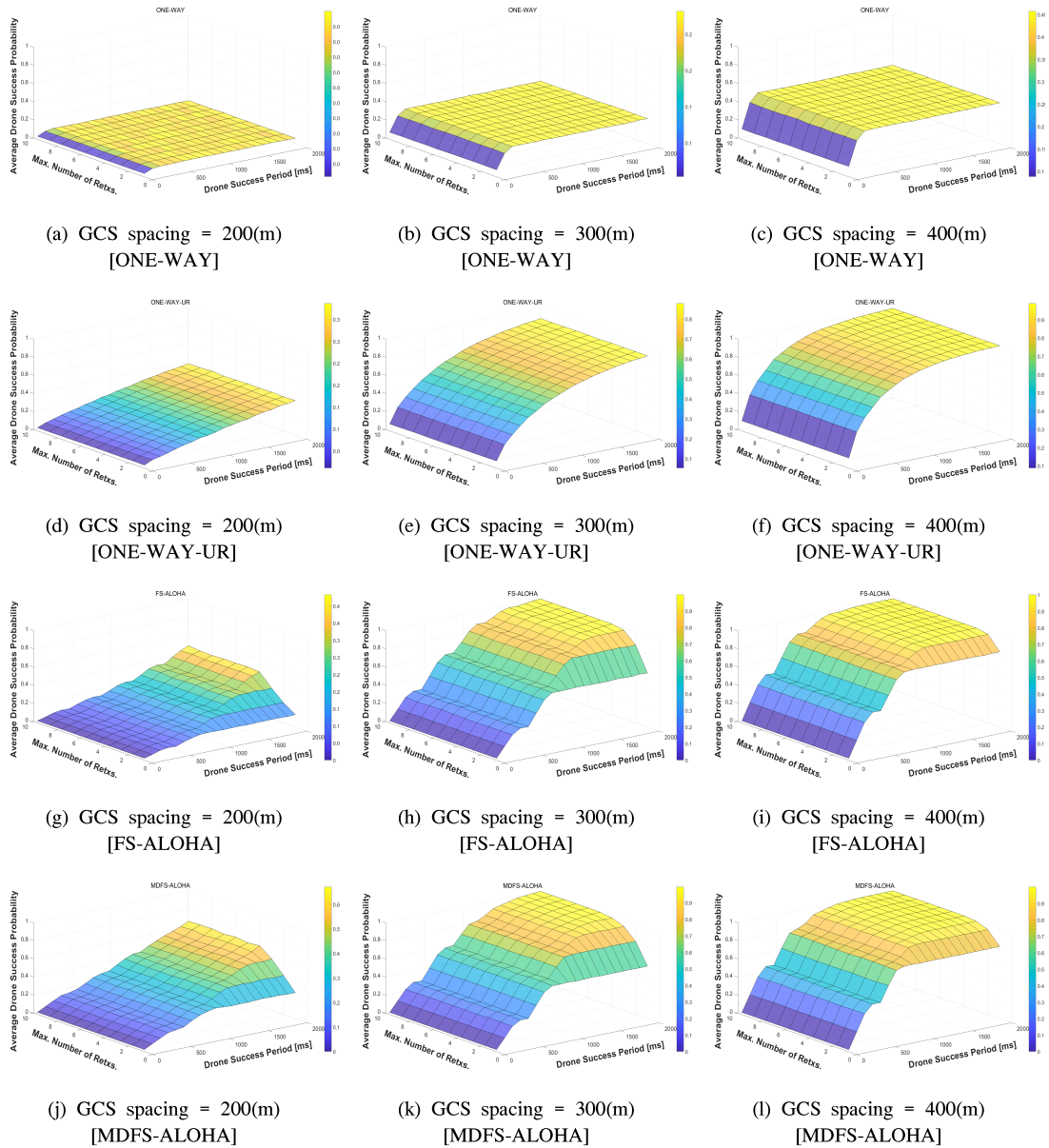


그림 3. 각 프로토콜의 UAV 전송 주기 변화와 최대 재전송 횟수 변화에 따른 드론 성공 확률
 Fig. 3. 3D of avg. UAV success prob. vs UAV tx. period and max. number of retxs.

하였다. 또한 각각의 프로토콜의 성능을 비교 분석하여 MDFS-ALOHA 프로토콜이 본 논문에서 설정한 시뮬레이션 환경과 4개의 프로토콜 중에서 가장 좋은 성능을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 본 시뮬레이션 결과를 통해 향후 A2G 네트워크 운용 시 프로토콜에 따른 인접 GCS 간 간격에 대한 효율적 운영이 가능할 수 있을 것으로 생각된다.

References

- [1] 6G Flagship, “Key drivers and research challenges for 6g ubiquitous wireless intelligence,” in *6G Research Visions 1*, pp. 1-36, Sep. 2019.
- [2] H. Yu, H. Lee, and H. Jeon, “What is 5G? emerging 5G mobile services and network

- requirements,” *MDPI Sustainability*, vol. 9, pp. 1-22, Oct. 2017.
- [3] S. Oh, “A case study civilian drone,” in *Proc. Symp. The Korean Soc. Broad Eng.*, pp. 315-318, Jul. 2015.
- [4] S. Y. Lim, “Use of drones at disaster safety sites,” *Sci. and Technol. Policy Inst.*, vol. 25, no. 6, pp. 16-19, 2015.
- [5] S. C. Lee, B. C. Yoon, D. E. Kim, and J. I. Chae, “Use of drones for public missions,” *J. KICS*, vol. 33, no. 2, pp. 100-106, 2016.
- [6] L. Merino, F. Caballero, J. Ferruz, J. Wiklund, P. E. Forssén, and A. Ollero, “Multi-UAV cooperative perception techniques,” *Multiple Heterogeneous Unmanned Aerial Vehicles*, pp. 67-110, 2007.
- [7] S. Lee and H. Lee, “Distributed Q-learning based UAV-BS control for maximizing network energy efficiency in air-to-ground communications,” in *Proc. KICS Summer Conf.*, p. 1363, Aug. 2020.
- [8] W. S. Lee, W. S. Lee, J. Y. Jang, and H. K. Song, “Time synchronization system for mission computers of unmanned aerial vehicles,” *J. IEIE*, pp. 1958-1960, Aug. 2020.
- [9] D. Kim, B. Lee, Y. Cho, and J. Kim, “A study on the design and implementation of small GCS for drone control based on the MAVLink protocol,” *J. KIISE*, pp. 1550-1552, 2017.
- [10] M. J. Park, H. C. Shim, H. S. Shin, and H. D. Oh, “Development of ADS-B core technology for aeronautical surveillance,” *KAIST*, pp. 21-22, Jan. 2010.
- [11] Y. S. Kim, “Next generation aeronautical surveillance system using SBAS1: ADS-B2,” *Korea Aerospace Res. Inst.*, Dec. 2018.
- [12] J. Yu, J. Yoon, and K. Park, “Risk analysis of UAV and GCS for network attacks,” *Commun. Korean Inst. Info. Scientists and Eng.*, vol. 37, no. 1, pp. 29-37, 2019.
- [13] D. Kim, W. Kang, Y. Koo, et al., “AI-based drone object tracking system: Design and implementation,” *J. KICS*, vol. 42, no. 12, pp. 2391-2401, Dec. 2017.
- [14] ITU-R, “*Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial broadband radio access systems operating in a frequency range from 3 to 60 ghz*,” ITU-R, Tech. Rep. Recommendation, pp. 1410-5, Feb. 2012.
- [15] A. Al-Hourani, S. Kandeepan, and S. Lardner, “Optimal lap altitude for maximum coverage,” *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 3, pp. 569-572, Dec. 2014.
- [16] H.-H. Choi, H. Lee, and K.-M. Kang, “Idleless slotted ALOHA protocol for drone swarm identification,” *J. KICS*, vol. 45, no. 9, pp. 1527-1538, Sep. 2020.
- [17] D. K. Klair, K.-W. Chin, and R. Raad, “A survey and tutorial of RFID anti-collision protocols,” *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 12, no. 3, 2010.

형 남 훈 (Namhun Hyung)



2015년 2월~현재 : 한경대학교
전기전자제어공학과 학사과정
<관심분야> B5G/6G 무선 통신,
고밀집 분산 네트워크, 사물인터넷

김 진 솔 (Jinsol Kim)



2017년 2월~현재 : 한경대학교
전기전자제어공학과 학사과정
<관심분야> B5G/6G 무선 통신,
고밀집 분산 네트워크, 사물인터넷

이 승 민 (Seungmin Lee)



2021년 2월: 한경대학교 전기
전자제어공학과 졸업
2021년 3월~현재: 한경대학교
전기전자제어공학과 석사과정
<관심분야> 전자공학, B5G/6G
무선 통신, 고밀집 분산 네
트워크, 강화학습기반 UAV
네트워크 운영, IoT.

이 호 원 (Howon Lee)



2003년 2월: KAIST 전자전산
학과 졸업
2009년 8월: KAIST 전기 및 전
자공학과 박사 (석박사통합)
2009년 6월~2010년 2월: KAIST
IT융합연구소 선임연구원
2010년 3월~2012년 2월: KAIST
IT융합연구소 연구조교수
2012년 4월~2021년 3월: KAIST IT융합연구소 겸직
교수
2012년 3월~현재: 국립한경대학교 전자전기공학부 전
자공학전공 교수
<관심분야> 5G/6G 모바일 네트워크, 무선 자원 관리,
Multi-UAV 통신, 머신러닝 기반 통신 네트워크, 3D
비디오 통신
[ORCID:0000-0001-5509-9202]