

무인 항공기 네트워크를 위한 MAC 프로토콜 기술 동향 연구

조준우*, 천혜림*, 이우신**, 안종철**, 진소연*, 김재현°

MAC Protocol Technology Trends for UAV Networks

Jun-Woo Cho*, Hye-Rim Cheon*, Woosin Lee**, Jong-Chul Ahn**, Soyeon Jin**,
Jae-Hyun Kim°

요약

무인 항공기 시장이 증가하게 됨에 따라, 다수의 무인 항공기를 운용하기 위한 무인 항공기 네트워크 기술 표준화 및 관련 연구가 진행 중에 있다. 하지만 무인 항공기 네트워크의 주파수 대역은 한정적이고, 이동성 등으로 인해 무선 링크 품질이 변화한다. 따라서, 한정된 자원 내에서 효율적이고 공평한 자원 할당을 위해서는 무인 항공기 네트워크의 구조와 특징을 파악해야 하며, 이를 바탕으로 한 MAC (Medium Access Control) 프로토콜에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 무인 항공기 네트워크에 구조와 특징들에 대해 분석하고, 무인 항공기 네트워크에 반영된 MAC 프로토콜을 조사·분석한 뒤, 각 프로토콜의 특징을 비교한다. 또한 이들 프로토콜을 분석한 내용을 바탕으로 무인 항공기 네트워크의 MAC 프로토콜의 개발 방향을 제시한다.

Key Words : UAV, UAV network, MAC protocol, UAS, FANET

ABSTRACT

Technical standardization and study of UAV (Unmanned Aerial Vehicles) networks are being carried out for operating multiple UAVs because of UAV markets expansions. In UAV networks, however, bandwidth is limited and wireless link quality is changed frequently by mobility. Therefore, it is necessary to understand the structure and characteristics of UAV network, and MAC protocol is required based on UAV network needed for efficient and equitable resource allocation mechanism within limited resources. In this paper, we analyze the structure and characteristics of the UAV network and MAC protocols for UAV network, compare the characteristics of each protocol. Finally we propose the development direction of MAC protocol for UAV network based on the previous analysis.

* 본 연구는 ㈜ 한화시스템의 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, cjw8945@ajou.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, jkim@ajou.ac.kr, 종신회원

* Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, hyerimn1@ajou.ac.kr, 학생회원

** Hanhwa System, woosin.lee@hanwha.com, 정회원 jack.ahn@hanwha.com, soyeon.jin@hanwha.com

논문번호 : KIC2017-04-113, Received April 18, 2017; Revised June 5, 2017; Accepted June 5, 2017

I. 서 론

무인 항공기는 조종사가 탑승하지 않고, 지상에서 원격조종 또는 사전에 프로그램 된 경로를 따라 자율 비행하는 비행체이다. 무인 항공기는 군사 목적으로 개발되어 정찰·감시, 조기경보, 목표물 파괴 등에 활용되었으나, 무인 항공기의 소형화가 이루어지게 되면서, 민간에서도 기상 관측, 산불 감지, 교통 통제, 화물 운반, 응급환자 구조 등에 활용되고 있다¹⁾.

무인 항공기가 여러 분야에서 활용됨에 따라, 단일로 운용하기에는 수용 능력에 제한이 있어, 여러 대를 동시에 운용하는 무인 항공기 네트워크 (UAV Network)가 고려되고 있다. 무인 항공기 네트워크는 지상 링크, 위성 링크, 무인 항공기 간 링크를 포함하는 네트워크로, 무인 항공기 운행의 안정성과 다양한 임무를 수행하기 위해 무인 항공기 제어를 위한 Control and Non Payload Communication (CNPC) 링크와 임무용 링크를 운용하고 있으며, 기술 표준화가 진행 중에 있다^{2,3)}.

하지만 기술 표준화가 진행되고 있다고 하여도, 무인 항공기 네트워크에 적용하기에는 부족한 점이 많다. International Telecommunication Union (ITU)에서는 WRC-12를 통해 L 대역 주파수를 사용하도록 하였으나, L 대역은 기존 항공 시스템이 혼재되어 있어, 무인 항공기를 위한 대역폭이 제한된다. 또한 무인 항공기의 이동성으로 인해 위치, 채널 환경이 실시간으로 변화하게 되어 무선 링크의 품질을 보장하기 어렵다. 뿐만 아니라 무인 항공기는 임무에 따라 영상, 음성 등 탑재 장비를 통해 획득한 데이터 종류가 다양하며, 이들이 요구하는 Quality of Service (QoS)가 다르다. 이러한 사항들이 고려되지 않은 채 무인 항공기 네트워크를 설계한다면, 무선 채널의 부적절한 사용을 초래해 메시지들 간의 충돌이 빈번히 발생하여, 자원이 낭비될 것이다. 따라서 무인 항공기 네트워크에서 효과적이고 공정하게 자원을 공유하는 방안을 수립하기 위해선 네트워크 구조와 특징에 대한 정리가 필요하며, 이를 바탕으로 한 MAC 프로토콜에 대한 연구가 필요하다^{4,5)}.

일반적으로 MAC 프로토콜은 경쟁기반 방식과 비경쟁기반 방식으로 나뉜다. 경쟁기반 방식은 각 노드가 채널 감지를 통해 접속을 시도하여 자원을 할당 받는 방식이며, 비경쟁기반 방식은 미리 자원 할당 스케줄링을 수행하고, 주어진 시간 안에 오직 한 노드만이 채널을 할당 받는 방식이다. 이러한 방식들을 무인 항공기 네트워크에 적용하였을 때에는 각각의 장·단점

존재하며, 최근에는 두 방식의 장점이 결합된 Hybrid 방식이 제안되고 있다⁶⁾.

본 논문에서는 무인 항공기 네트워크의 구조와 특징들에 대해 분석하고, 무인 항공기 네트워크에 반영된 MAC 프로토콜을 조사 분석한 뒤, 각 프로토콜의 특징을 비교한다. 또한 이들 프로토콜을 분석한 내용을 바탕으로 무인 항공기 네트워크의 MAC 프로토콜의 개발 방향을 제시한다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. 2장에서는 무인 항공기 네트워크의 구조와 특징을 살펴보고, 3장에서는 Code Division Multiple Access (CDMA), Time Division Multiple Access (TDMA), Carrier Sense Multiple Access (CSMA), Hybrid 순으로 무인 항공기 네트워크에 적용된 MAC 프로토콜 연구에 대한 비교 분석을 수행 한다. 4장에서는 3장에서 언급한 연구 내용을 통해 무인 항공기 네트워크에 적용할 MAC 프로토콜에 대한 설계 방향을 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 무인 항공기 네트워크 구조 및 특징

2.1 무인 항공기 네트워크 구조

무인 항공기 네트워크는 그림 1처럼 지상 링크와 위성 링크, 무인 항공기 간 링크를 포함한 구조를 가진다. 지상 링크는 지상 제어국 (GCS: Ground Control Station)과 지상 기반 시설 (셀룰러 시스템, 인터넷 등)이 무인 항공기와 연결되어 있다. 위성 링크는 무인 항공기 네트워크의 통신 신뢰성을 높이기 위해 지상 링크의 보조 링크로 활용한다. 무인 항공기 간 링크는 공중 중계 네트워크 (FANET: Flying Ad-hoc Network)로 분류하며, 관련 연구들이 진행 중이다^{4,7)}.

무인 항공기 네트워크의 데이터 링크는 CNPC 링

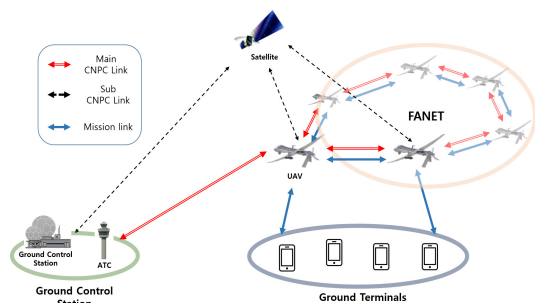


그림 1. 무인 항공기 네트워크 구조
Fig. 1. UAV network architecture

표 1. 무인 항공기 네트워크의 데이터 트래픽 종류 및 QoS 요구사항[7]
Table 1. Data traffic and QoS requirements of UAV network

| Traffic | Application | Latency | Bandwidth |
|---------------------------|--|---------|-----------|
| Real-time voice | ATC-GCS Communication, communication relay, | Low | Middle |
| Store-and-forward voice | Long term surveillance, tap mission | High | Middle |
| Real-time video | Border monitoring, interactive surveillance, disaster recovery, vehicle tracking | Low | High |
| Store-and-forward video | Long term surveillance | High | High |
| Real-time sensing | UAV state monitoring, traffic monitoring | Low | Low |
| Store-and-forward sensing | Habitat monitoring, seismic activities, radiation | High | Low |

크와 임무용 링크로 나뉜다. CNPC 링크는 무인 항공기의 비행 제어와 상태 모니터링을 위한 링크로, 무인 항공기와 지상 제어국 간의 링크, 조종사와 Air Traffic Control (ATC) 간의 링크로 구성되어 있다^[8].

임무용 링크는 무인 항공기의 임무를 통해 획득한 데이터를 교환하기 위한 통신 링크로, 데이터에는 음성, 영상, 레이더 신호 등이 있다. 표 1은 무인 항공기의 임무용 데이터와 관련한 트래픽 종류 및 QoS 요구사항을 정리한 것이다^[7].

2.2 무인 항공기 네트워크 특징

2.2.1 고속 이동성

무인 항공기는 고속으로 이동하며, 임무를 신속히 수행 할 수 있기 때문에 정찰·감시 임무 뿐만 아니라, 재난상황 등과 같은 통신망 마비 시 긴급 통신망 구축이 가능하다. 하지만 무인 항공기의 고속 이동성은 무선 채널의 상태를 매우 다양하게 변화시켜, 통신 신뢰도를 낮춘다^[8].

2.2.2 네트워크 구조 변화

무인 항공기는 정해진 이동 경로 없이, 자유롭게 이동할 수 있기 때문에, 네트워크의 구조가 기존의 이동통신 네트워크에 비해 매우 다양하다. 네트워크 구조가 매우 빈번하게 변화하면, 무선 채널의 품질이 다양해져 통신 신뢰도가 낮아지게 된다. 또한 네트워크 구조 변화를 파악하기 위한 업데이트 메시지를 주기적으로 교환하는 과정에서 네트워크 오버헤드가 발생할 수 있다^[8].

2.2.3 채널 특징

무인 항공기는 기본적으로 Line of Sight (LoS) 통

신을 수행하며, 산악 지형, 건물 등 다소 장애물이 존재하는 환경에서는 위성을 통해 Beyond LoS (BLoS) 통신을 수행한다.

LoS 신호가 강하기 때문에 라이시안 페이딩 모델을 채널 모델로 고려하고 있으며, 라이시안 분포는 수식 1과 같다. ρ 는 LoS 경로의 주요 신호 세기이며, σ 는 분산 경로의 신호세기를 의미한다, I_0 는 0차 베셀 함수이다^[9].

$$p_c = \frac{x}{\sigma_0^2} \exp\left(\frac{-x^2 - \rho^2}{2\sigma_0^2}\right) I_0\left(\frac{x\rho}{\sigma_0^2}\right) \quad (1)$$

이외에도 무인 항공기의 운용 고도와 환경에 따라 다른 채널 모델을 고려할 수 있다. 저고도 무인 항공기의 경우, 신호의 반사, 굴절, 분산 등으로 인한 다중 경로 요소들을 고려한 페이딩 모델이 고려되고 있다. 또한 사막 지형이나 해상과 같은 곳에서는 운용 되는 경우 Two-ray 채널 모델을 활용한다.

무인 항공기 간 채널은 다중 경로 요소들에 의한 페이딩에 비교적 자유롭지만, 무인 항공기의 이동성으로 인한 도플러 주파수를 고려해야 한다^[6].

$$f' = \left(\frac{v + v_0}{v - v_s}\right)f \quad (2)$$

수식 2는 파원과 관찰자가 모두 움직일 때의 관측된 주파수 f' 를 나타낸 것이다. v 는 속도, v_s 는 파원의 속도이며, v_0 는 관측자의 속도이다. f 는 파동의 실제 진동수이다.

III. 무인 항공기 네트워크 MAC 프로토콜 연구 동향

3.1 CDMA 기반 프로토콜

3.1.1 Prioritized Frame Selection Based CDMA MAC protocol (PFSC-MAC)

[10]에서는 우선순위 기반 알고리즘을 활용하여, 무인 항공기와 데이터 교환이 가능한 활성화 센서 (Active Sensor)의 수를 증가시키는 MAC 프로토콜을 제안하고 있다. 일정 시간 동안 무인 항공기와 통신하는 활성화 센서의 수가 많아졌기 때문에, 네트워크 처리율이 향상되었고, Packet Error Rate (PER)이 낮아졌다. 하지만, 모든 활성화 센서들이 코드를 부여받아야 함으로 코드 조합이 제한적인 환경에서 활용하기는 어렵다.

3.1.2 토큰 순환 기법

[11]에서는 토큰 순환 기법을 적용한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 코드 재사용 기법이 적용되었기 때문에, 기존의 CDMA 방식에 비해 무인 항공기 네트워크의 규모가 큰 환경에서도 평균 지연이 낮고 패킷 전송률이 높다. 하지만 무인 항공기의 수만큼 코드를 할당해야 하기 때문에 코드 조합이 제한적인 환경에서는 활용하기 어려우며, 신규 무인 항공기가 네트워크에 접속하는 경우를 고려하지 않고 있다.

3.2 TDMA 기반 프로토콜

3.2.1 Piggy backing 매커니즘 ACK

[12]에서는 Piggy backing 방식을 활용하여 한 시간 슬롯 내에 1개의 보호 슬롯만을 사용한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 보호 슬롯의 수가 줄어들어 중단간 지연시간이 단축되었고, 네트워크 처리율이 향상되었다. 하지만 시간 동기화를 고려하지 않아 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

3.2.2 다중 홉 공중 네트워크 MAC 프로토콜

[13]에서는 다중 홉 공중 네트워크 환경에서, 라우팅 프로토콜의 효율성을 증대시키기 위해 TDMA 기반 MAC 프로토콜을 활용하였다. 테스트베드를 구축하여 성능 분석을 실시하였으며, 시간 동기화를 위해 GPS 정보를 활용하였다.

성능 분석 결과 TDMA 기반 MAC 프로토콜을 활용하기 위해서는 더 정교한 시간 동기화 과정이 필요하며, 시간 차 에러를 제어하는 기술이 필요하다고 언

급하고 있다.

3.2.3 Location-Based TDMA (LBTM)

[14]에서는 위치정보를 활용한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 기존의 Ack polling 방식과는 달리, 지상 제어국에서 충돌 없이 Ack 신호를 수신할 시간을 알고 있기 때문에, 별도의 보호 시간 없이 Ack 신호 전송이 가능하다.

이로 인해 네트워크 전체 지연 시간이 낮아졌으며, 네트워크 처리율이 향상되었다. 하지만 무인 항공기가 네트워크 내 모든 무인 항공기의 위치를 파악하고 있어야 하고, 시간 동기화에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

3.3 CSMA 기반 프로토콜

3.3.1 Adaptive MAC protocol for UAV (AMUAV)

[15]에서는 지향성 안테나와 전방향 안테나를 혼재한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 전방향 안테나를 통해 채널 감지를 수행하고, 고도, 위도, 경도, 비트 오류율 등을 활용하여, 안테나 선택 후 데이터를 전송한다.

이로 인해 처리율이 향상되었으며, 지연 시간이 낮아졌다. 하지만, 패킷 충돌 확률이 높고, 매번 데이터를 갱신하여 저장하기 때문에 메모리 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

3.3.2 LODMAC (Location Oriented Directional MAC)

[16]에서는 전방향 안테나를 활용한 CSMA/CA 기반 프로토콜을 제안하고 있다. 그림 2와 같이 하나의 안테나(T1)는 제어 메시지를 전송하며, 또 다른 안테나(T2)는 데이터 전송에만 활용한다. 또한 Busy To Send(Busy to Send) 제어 메시지를 활용하여 전방향 안테나의 문제점인 Deafness 문제를 해결하였다.

제어 메시지 전송 채널과 데이터 전송 채널이 서로

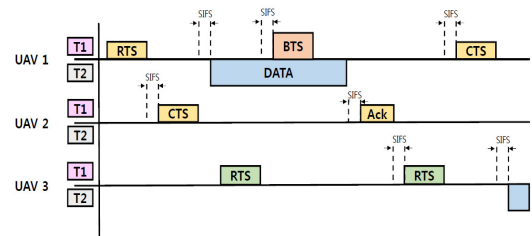


그림 2. LODMAC의 데이터 전송 과정
Fig. 2. Data transmission step of LODMAC

분리되어 있기 때문에 기존의 CSMA/CA 방식에 비해, 제어 메시지 송·수신에 걸리는 시간이 줄어들게 되어, 채널 효율성이 높고, 처리율이 향상되었으며, 지연시간이 감소하였다. 하지만 패킷 충돌 확률을 최소화 하는 방안은 제안되지 않고 있으며, 기존에 방식들에 비해 요구되는 채널의 수가 많기 때문에 채널의 수와 데이터 처리율의 상관관계 등 Trade-off에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

3.4 Hybrid 기반 프로토콜

3.4.1 Centralized Intelligent Channel Assigned Multiple Access (C-ICAMA)

[17]에서는 상향링크와 하향링크의 불균형을 극복하기 위해, 슬롯 기반 ALOHA와 TDMA가 결합된 MAC 프로토콜을 제안하고 있다. 특정 지역 내에서 데이터 교환이 필요한 노드들은 슬롯 기반 ALOHA를 통해 채널에 접속하고, 이를 기반으로 상향링크와 하향링크의 비율을 정한 뒤 데이터를 교환하게 된다.

네트워크 부하가 감소하였으며 지연 시간이 낮아지게 되었고, 처리율이 증가하였다. 채널 접속 정보와 관련한 데이터를 저장할 버퍼가 필요하며, 각 링크의 비율을 주기적으로 갱신해야 함으로, 시스템 내부 지연이 높아질 수 있다.

3.4.2 Collision-Free MAC (CF-MAC)

[18]은 TDMA 방식과 CSMA 방식이 혼재되어 있는 MAC 프로토콜을 제안하고 있다. 무인 항공기는 이웃 프레임 정보를 통해 비어 있는 타임 슬롯이 존재하는 것을 확인 한 뒤, 채널 접속을 시도하고 자원을 할당받는다.

이웃 프레임 정보를 활용하기 때문에 메시지 충돌 확률이 낮아졌고, 네트워크 오버헤드가 감소하였다. 하지만 이웃 프레임 정보를 유지하기 위해서는 주기적인 제어 메시지 교환이 필요하다.

3.4.3 Collision Coordination MAC (CC-MAC)

[19]에서는 CSMA 방식과 TDMA 방식을 결합한 MAC 프로토콜을 제안하고 있다. CC-MAC I에서, MASTER 무인기는 n개의 타임슬롯으로 구성된 Aggregated Request to Send (ARTS) 를 통해, ACTOR 무인기에서 전송한 RTS 프레임을 저장하고, Aggregated Clear to Send (ACTS)를 브로드 캐스팅하여 각 무인기에게 전달한다. 이러한 버퍼를 사용함으로써, ACTOR 무인 항공기들의 RTS 프레임 충돌을 감소시켰기 때문에, 지연시간이 없이 데이터 전송

이 가능하다.

신규 노드의 유입을 위해 CSMA 방식을 활용하였고, 비경쟁기반 방식을 활용하여 메시지 충돌 확률을 낮추었다. 하지만 MASTER 무인 항공기의 ARTS의 크기는 미리 지정되어 있어, ARTS의 값보다 많은 무인 항공기가 접속을 시도하면 메시지 충돌 확률이 높아진다.

IV. 무인 항공기 네트워크의 MAC 프로토콜 개발 방향

무인 항공기 네트워크를 위한 MAC 프로토콜은 무인 항공기 네트워크의 요구사항을 충족해야 하고, 해당 네트워크의 특수성이 반영되어야 한다. 또한, 다양한 데이터들의 QoS를 지원해줄 수 있어야 한다⁶⁾.

4.1 무인 항공기 네트워크 요구사항 선정

NASA에서는 무인 항공기의 CNPC 링크 설계를 위해, 네트워크 핵심 요구사항들을 선정하였으며, 해당 항목들을 표 2에 정리하였다. 이를 활용하여 평가 항목을 선정, CDMA, FDMA, TDMA 별로 지상 제어국과 무인 항공기 간 상향링크와 하향링크의 성능 분석을 실시하였다²⁰⁾.

NASA에서 언급한 요구사항들은 MAC 프로토콜 설계 시 고려할 수 있는 기본 사항들이다. 하지만 언급된 요구사항들은 CNPC 링크만을 고려한 사항들이기 때문에, 임무용 링크가 포함된 무인 항공기 네트워크를 위해서는 일부 요구사항들이 수정되거나 추가되어야 한다. 예를 들어, 대역폭의 경우 전송 데이터 링크와의 호환성을 위해 Ku 대역과 X 대역을 고려할 수 있을 것이며, 위성과의 통신을 위한 Ku 대역과 Ka 대역을 고려할 수도 있다. 이를 통한 셀 반경, 및 네트워크 내 무인 항공기의 수가 변경될 수 있다. 또한 무인 항공기의 속도, 이동 패턴 등이 요구사항에 추가되어야 한다²¹⁾.

4.2 이동성 지원과 Hybrid MAC 프로토콜

기존 이동통신 네트워크에서는, 이동 통신 단말의 네트워크 접속을 위해 경쟁 기반의 랜덤 접속 방식을 활용하고, 핸드오버와 같은 특별한 접속 시에만 비경쟁 기반 방식을 활용한다. 이는 단말이 최소한의 무선 자원을 사용하여, 기지국으로 신속하게 접속할 수 있기 때문이다. 따라서 기존의 이동통신 네트워크 환경과 유사한 무인 항공기의 네트워크의 이동성 지원을 위해, MAC 프로토콜은 경쟁기반과 비경쟁기반이 혼

표 2. 핵심 시스템 레벨 요구사항[20]
Table 2. key system level requirements

| Requirement | Property |
|---|--|
| Radio frequency band (MHz) | - 960 - 977 (L band) - 5030 - 5091 (C band) |
| Aircraft density assumptions (# per 100 km ²) | - 1,680 (small UAV) - 407 (medium UAV) - 91 (large UAV) |
| Cell service volume Radius (miles) | - 75 (L band) |
| Maximum number of UAVs supported per cell | - 20 (basic service) - 4 (weather radar) - 4 (video) |
| Uplink information Rates (bps) | - 2,424 (Small UAVs ≤ 55kg) - 6,925 (Medium / Large UAV > 55kg) |
| Downlink information Rates (bps) | - 4,008 (Small UAVs, basic service) - 13,573 (Medium / Large UAVs, basic service) - 34,133 (Medium / Large UAVs, basic, weather radar) - 234,134 (Medium / Large UAVs, basic, weather radar, video) |

재된 방식으로 개발되어야 한다^[25].

Hybrid 기반 프로토콜에서의 경쟁 기반 프로토콜로는 앞서 II장에서 정리한 것과 같이 CSMA 방식을 주로 활용하고 있으나, [15, 16]에서 확인 바와 같이 경쟁으로 인한 패킷 충돌 확률을 낮출 수 있는 방안이 필요하다. [18]에서는 1홉 내 이웃정보를 활용하여, 패킷 충돌 확률을 줄이는 방안을 선택하고 있으며, [19]의 경우에는 버퍼를 활용하여 패킷 충돌 확률을 줄이는 방안을 선택하고 있다. [18]의 경우에는 지역 마킹이라는 방식을 활용하여 자원을 할당해 나가기 때문에, ARTS 버퍼를 추가한 [19]에 비해 MAC 프로토콜의 설계의 복잡도가 더 높다.

Hybrid 기반 프로토콜의 비경쟁 기반 프로토콜로는 TDMA 방식이 주로 활용되고 있다. 이는 한 슬롯 내에 하나의 사용자만 할당되기 때문에 전력소모가 전력 문제를 해결할 수 있으며, FDMA나 CDMA에 비해 한정된 주파수 대역에서 자원을 효율적으로 활용할 수 있기 때문이다. 하지만 [13]에서 확인 한 것과 같이, TDMA 방식을 활용하기 위해서는 정밀한 네트워크 시간 동기화 과정이 필요하다^[26].

Hybrid 기반 프로토콜 설계 시에는 경쟁 기반과 비경쟁 기반의 비율 역시 고려해야 한다. [17]에서 제안된 MAC 프로토콜 구조에서는 경쟁 기반 방식이 비경쟁 기반 방식 보다 그 비율이 낮다. 이는 채널에 접속을 시도하는 무인 항공기 보다, 네트워크 내 주요 데이터를 전송할 수 있는 무인 항공기가 더 많기 때문이

다. 하지만 이와는 달리, 네트워크에 접속하려는 무인 항공기의 수가 많다면, 경쟁 기반 방식의 비율이 조금 더 높아야 한다. 따라서, 이들의 비율은 네트워크의 요구사항에 따라 정해진 자원 내에서 동적으로 할당할 수 있어야 한다.

4.3 다양한 QoS 지원과 비경쟁 기반 MAC 프로토콜

무인 항공기 네트워크와 유사한 차량 통신 네트워크 (VANET: Vehicular Ad-hoc Network)의 QoS 보장을 위한 MAC 프로토콜로 비경쟁 기반 방식을 활용하는 방안이 대두되고 있다. 패킷 충돌 확률이 높은 경쟁 기반 프로토콜은 지연시간이 높고 채널 효율성이 떨어져, 다양한 QoS를 지원하기 어렵기 때문이다^[23].

무인 항공기 네트워크에서 사용 중인 비경쟁 기반 프로토콜은 CDMA와 TDMA가 있다. 또 다른 비경쟁 기반 방식인 FDMA는 일정 대역폭을 할당함으로써, 무인 항공기에게 주파수 대역을 보장할 수 있다는 장점이 있지만, 무인기 한 대 당 대역폭을 할당해야 하기 때문에, 대역폭이 제한적인 환경에서는 활용하기 어렵다. CDMA는 앞서 III장에서 확인한 바와 같이 처리율, 지연 시간 등에는 효율적인 방식이나 코드 조합의 제한으로 인해, 자원 효율성이 다소 떨어진다.

따라서 무인 항공기 네트워크의 다양한 QoS 지원을 위해서는 TDMA가 가장 적합할 것으로 예측된다. TDMA는 앞서 언급한 것과 같이 전력 소모에 가장

효율적인 방식이며, 간섭이 높은 환경에서도 무선 채널 접속의 공정성을 유지한다. 또한 슬롯 할당이 자유로워 처리율이 높다. 뿐만 아니라 지연에 민감한 환경에서도 [12]와 [14]의 알고리즘 적용한다면, 실시간 데이터 전달이 가능할 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 무인 항공기 네트워크에 적용하기 위한 MAC 프로토콜에 대해 기존의 연구 내용들을 비교 분석하여, 무인 항공기 매체 제어 접속 프로토콜의 개발 방향을 제시하였다. 무인 항공기 네트워크는 임무에 따라 네트워크의 구조와 데이터의 종류가 다르기 때문에, 한정된 무선 채널 자원에서 효율적인 자원 공유 방안을 수립하기 위해선 MAC 프로토콜 연구가 필수적으로 수행되어야 한다. 따라서 무인 항공기 네트워크에 적용된 MAC 프로토콜에 대해서 조사를 실시하였으며, 관련 연구들에 대한 장점 및 개선사항에 대한 분석을 실시하였다. 이 후, 조사 분석한 내용을 바탕으로 무인 항공기 네트워크를 위한 MAC 프로토콜 개발 방안을 제시하였다. 본 논문에서 조사 분석한 내용을 바탕으로, 차후에는 지상 - 무인 항공기 간의 자원 할당에 대한 연구뿐만 아니라 무인 항공기 공중 중계에서의 효율적인 자원 활용에 대한 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] S. J. Maeng, H. Park, and Y. S. Cho, "Beam tracking technique for communication with multiple unmanned aircraft vehicles (UAVs)," *J. KICS*, vol. 41, no. 11, pp. 1539-1548, Nov. 2016.
- [2] Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, "Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 5, pp. 36-42, May 2016.
- [3] I. Jawhar, N. Mohamed, J. A. Jaroodi, D. P. Agrawal, and S. Zhang, "Communication and networking of UAV-based systems: classifications and associated architectures," *J. Net. Comp. Appl.*, vol. 84, no. 15, pp. 93-108, Feb. 2017.
- [4] L. Gupta, R. Jain, and G. Vaszkun, "Survey of important issues in UAV communication networks," *IEEE Comm. Surv.*, vol. 18, no. 2, pp. 1-32, Nov. 2015.
- [5] M. Haddad, P. Muhlethaler, A. Laouiti, R. Zagrouba, and L. A. Saidane, "TDMA-based MAC protocol for vehicular ad-hoc networks: a survey, qualitative analysis, and open research issues," *IEEE Commun. Surv.*, vol. 17, no. 4, pp. 2461-2492, Jun. 2015.
- [6] Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, "Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 5, pp. 36-42, May 2016.
- [7] I. Bekmezci, O. K. Sahingoz, and S. Temel, "Flying ad-hoc networks (FANETs): a survey," *Ad Hoc Net.*, vol. 11, no. 3, pp. 1254-1270, Jun. 2014.
- [8] Z. Han, A. L. Swindlehurst, and L. J. R. Liu, "Optimization of MANET connectivity via smart deployment/ movement of unmanned air vehicle," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 7, pp. 3533-3546, Sept. 2009.
- [9] N. Goddemier and C. Wietfeld, "Investigation of Air-to-Air channel characteristics and a UAV specific extension to the rice model," in *Proc. IEEE GC Wkshps*, pp. 1-5, San Diego, USA, Dec. 2015.
- [10] T. D. Ho, J. Park, and S. Shimamoto, "QoS Constraint with prioritized frame selection CDMA MAC protocol for WSN employing UAV. in *Proc. IEEE GC Wkshps*, pp. 1826 - 1830. Miami, USA, Dec. 2010.
- [11] J. Li, Y. Zhou and L. Lamont, "A token circulation scheme for code assignment and cooperative transmission scheduling in CDMA-based uav ad hoc networks," *Wirel. Net.*, vol. 19, no. 6, pp. 1469-1484, Aug. 2013.
- [12] H. Jang, H. Noh, and J. Lim, "Airborne TDMA for high through- put and fast weather conditions notification," *Int. J. Comp. Net. Commun.*, vol. 3, no. 3, pp. 206-220, May 2011.
- [13] L. R. Pinto, A. Moreira, L. Almedia, and A.

Rowe, "Characterizing multihop aerial networks of COTS multirotors," *IEEE Trans. Ind. Info.*, vol. 13, no. 2, pp. 898-906, Apr. 2017.

[14] H. Jang, E. Kim, J. Lee, and J. Lim, "Location-based TDMA MAC for reliable aeronautical communication," *IEEE Trans. Aero. Electro. Sys.*, vol. 48, no. 2, pp. 1848-1854, Apr. 2012.

[15] A. I. Alshbatat and L. Dong, "Adaptive MAC protocol for uav communication networks using directional antennas," in *Proc. IEEE ICNSC 2010*, pp. 598-603, Chicago, USA, Apr. 2010.

[16] S. Temel and I. Bekmezci, "LODMAC: location oriented directional MAC protocol for FANETs," *Comp. Net.*, vol. 83, pp. 76-84, Jun. 2015.

[17] D. L. Gu, X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and Y. Z. Lee, "C-ICAMA, a centralized intelligent channel assigned multiple access for multi-layer ad-hoc wireless networks with UAVs," in *Proc. IEEE WCNC 2000*, pp. 879-884, Chicago, USA, Sept. 2000.

[18] A. Jiang, Z. Mi, C. Dong, and H. Wang, "CF-MAC: a collision-free MAC protocol for uavs ad-hoc networks," in *Proc. IEEE WCNC 2016*, Doha, Qatar, Apr. 2016.

[19] S. Say, H. Inata, and S. Shimamoto, "A hybrid collision coordination-based multiple access scheme for super dense aerial sensor networks," in *Proc. IEEE WCNC 2016*, Doha, Qatar, Apr. 2016.

[20] NASA, *NASA CNPC System Waveform Trade Studies*, NASA/ CR-2014-2116673, 2014.

[21] W. Kang, J. Song, K. Lee, D. H. Lee, S. J. Jung, and H. J. Choi, "Analysis of common data link technology trends for the next generation korean common data link development," *J. KICS*, vol. 39, no. 3, pp. 209-222, May 2013.

[22] S. S. Yoo, S. H. Lee, J. Shin, S. M. Oh, and J. H. Kim, "Performance evaluation of LTE-A random access procedure for IoT service," *J. KICS*, vol. 41, no. 8, pp. 965-973, Aug. 2016.

[23] J. Han, D. Kim, Y. B. Ko, and D. H. Kwon, "Centralized TDMA slot assignment scheme based on traffic direction for QoS guarantee in unmanned robot systems," *J. KICS*, vol. 41, no. 5, pp. 555-564, May 2016.

조 준 우 (Jun-Woo Cho)



2015년 : 아주대학교 전자공학과 공학사
 2015년~현재 : 아주대학교 전자공학과 석박사통합과정
 <관심분야> UAV, 위성통신, 국방 기술네트워크 등

천 혜 림 (Hye-Rim Cheon)



2006년 : 아주대학교 전자공학부 졸업
 2011년~현재 : 아주대학교 전자공학과 석박사통합과정
 <관심분야> MAC 프로토콜, 무인기 데이터링크, 자원 할당 스케줄링, 소형셀 등

이 우 신 (Woosin Lee)



2001년 : 광운대학교 컴퓨터공학 공학사
 2003년 : 광운대학교 컴퓨터공학 공학석사
 2007년 : 광운대학교 컴퓨터공학 공학박사
 2008년~현재 : 한화시스템 지휘통제·통신연구소 수석연구원
 <관심분야> 무선 멀티홉 네트워킹, 군용 데이터링크, 기술네트워크, 무인기 제어/관리 시스템, 애드혹 네트워킹, 자원할당 스케줄링 등

안 종 철 (Jong-Chul Ahn)



1997년 : 인하대학교 전자공학
공학사
2017년 : 아주대학교 NCW학과
공학석사
1997년~1998년 : (주)삼성전자
네트워크 사업부 연구원
2002년~현재 : 한화시스템 SW
팀(통신) 수석

<관심분야> SW개발, 위성통신, NCW, 국방사이버
등

김 재 현 (Jae-Hyun Kim)



1987년~1996년 : 한양대학교 전
산과 학사 및 석/박사 졸업
1997년~1998년 : 미국 UCLA
전기전자과 박사 후 연수
1998년~2003년 : Bell Labs,
NJ, USA, 연구원
2003년~현재 : 아주대학교 전자
공학부 교수

<관심분야> QoE/QoS, 무선 MAC 프로토콜, IEEE
802.11/15, B5G 이동통신시스템, 국방전술네트워
크, 위성시스템, 무인이동체 네트워크 등

진 소 연 (Soyeon Jin)



2003년 : 전북대학교 컴퓨터공
학 공학사
2002년~현재 : (주)한화시스템
전문연구원

<관심분야> MAC 프로토콜,
데이터링크, 통신 시스템 설
계, 소프트웨어 공학,
Machine Learning 등