

논문 2017-54-7-1

네트워크 환경 및 데이터 요구사항에 따른 무인기 네트워크 자원할당 알고리즘

(UAV Network Resource Allocation Algorithm according to the
Network Environment and Data Requirement)

천혜림*, 황찬호**, 이우신***, 유인덕***, 김재현****

(Hye-Rim Cheon, Chan-Ho Hwang, Woosin Lee, Indeok Yoo, and Jae-Hyun Kim[©])

요약

무인기 시스템은 무인기 시장이 확대됨에 따라 다수 무인기의 동시 운용을 위한 충분한 주파수 대역 할당에 한계가 있다. 또한, 무인기의 이동성으로 인해 실시간으로 무인기 네트워크 통신환경이 급변한다. 따라서 무인기 시스템의 안정적인 운용 및 전송 data rate를 최대화 하기 위해서는 한정된 주파수 대역폭 안에서 주어진 네트워크 환경을 고려한 효율적인 자원할당이 필요하다. 본 논문에서는 TDMA(Time Division Multiple Access)를 기반으로 주어진 네트워크 환경에서 무인기 운용을 위한 최소 데이터 요구사항을 만족시키는 동시에 네트워크 처리율을 최대화 하는 자원할당 알고리즘을 제안한다. 성능분석을 통해 제안한 알고리즘은 주어진 네트워크 환경에서 최소 데이터 요구사항을 만족하면서 높은 네트워크 처리율을 만족시키는 자원할당이 가능함을 입증하였다.

Abstract

UAV system has the limitation to allocate enough spectrum bandwidth for the operation of multiple UAVs due to the market expansion. In addition, the communication environment of UAV network varies dynamically due to the UAV's mobility. Thus, to operate the stable UAV system and maximize the transmission data rate, it needs to allocate the resource effectively in the limited bandwidth considering the given network environment. In this paper, we propose the resource allocation algorithm which can maximize the network throughput as well as satisfy the minimum data requirement for the UAV system operation in the given network environment based on TDMA(Time Division Multiple Access). By performance analysis, we show that the proposed algorithm can allocate the resource to satisfy the high network throughput as well as the minimum data requirement in the given network environment.

Keywords: 무인기, TDMA, 무인기 데이터링크, 자원할당, 스케줄러

I. 서론

무인기는 조종사가 탑승하지 않고 지상에서 무선링크를 통해 명령 및 제어메시지를 전송하여 임무를 수행하는 비행체의 형태를 의미한다. 무인기는 조종사의 탑승없이 임무를 수행할 수 있다는 특징 때문에 감시정찰, 정밀지상공격, 통신중계 등 군사적 목적으로 많이 활용되어 왔으며, 교통관제 및 물류, 산불감시, 국토 및

* 학생회원, ****평생회원, 아주대학교 전자공학과
(Department of Electrical and Computer Engineering,
Ajou University)

** 정회원, 국방과학연구소 (Agency of Defense Development)

*** 정회원, 한화시스템 (Hanwha Systems)

© Corresponding Author (E-mail : jkim@ajou.ac.kr)

※ 본 연구는 한화시스템의 재원을 지원받아 수행되었음.

Received ; May 17, 2017 Revised ; May 22, 2017

Accepted ; June 27, 2017

해양감시 등 다양한 민간분야에서의 활용도 전망되고 있다. 이에 따라 다양한 목적의 많은 무인기가 운용될 것으로 예측된다^[1]. 그리고 Teal Group의 2016년 보고서에 따르면 군 무인기 시장은 2016년 28억불에서 2025년 94억불로 성장할 것으로 예측하고 있으며, 민간 무인기 시장은 2016년부터 2025년까지 연평균 약 15.4%의 성장률을 보일 것으로 예측하고 있다^[2~3].

무인기 시장 확대에 의해 무인기의 안정적인 운용을 위한 표준화된 시스템 구축이 필요한 상황이며, 여러 곳에서 기술 표준화가 진행되고 있다. 미국의 경우, RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics) SC(Special Committee)-228 C2(Command and Control) WG(Working Group)-2에서 무인기시스템 C2 데이터링크의 최소운용성능표준인 MOPS (Minimum Operation Performance Standard)을 개발 중이다^[4]. 유럽에서는 EC(European Commission)에서 설립한 ERSG (European RPAS Steering Group)에서 제어용 통신기술 개발이 포함된 유럽 항공시스템에 민간 무인기 통합을 위한 로드맵을 발표하였다^[5]. 또한, NATO의 STANAG (Standardization Agreement) 4586에서는 무인기 시스템의 상호운용성을 위한 통신규약, 메시지 포맷 표준을 다루고 있다^[6].

무인기 시스템은 무인기, 지상통제장비, 무인기 데이터링크로 구성되며, 그 중에서도 무인기 데이터링크에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^[7]. ITU-R(ITU Radiocommunication sector)에서는 지상 및 위성 CNPC (Control and Non-Payload Communication) 링크를 위한 최대 대역폭 요구사항을 예측하였다^[8]. NASA에서는 제어 및 ATC(Air Traffic Control) 통신 링크를 위한 대역폭 요구사항을 예측하였고, 다양한 측면에서 지상 CNPC 링크의 waveform trade study를 수행하여 상향링크 및 하향링크 각각에 맞는 접속방식을 도출하였다^[9~10].

그러나 위의 연구를 통해 무인기 데이터링크에 필요한 대역폭과 접속방식을 도출하였다더라도, L 대역의 경우 기존 항공 시스템이 혼재되어 운용되고 있고, 앞서 언급한 바와 같이 무인기 시장이 커짐에 따라 각 무인기 시스템의 전송속도 보장을 위한 충분한 주파수 대역할당은 한계가 있다^[11]. 그리고, 무인기 데이터 링크의 목적에 따라 음성, 영상, 제어 정보, 위치정보 등 전송되는 데이터 종류가 다르고 그 데이터 요구사항도 달라진다^[7]. 또한, 무인기 운용대수, 기상, 채널환경 등 통신환경도 무인기의 이동성으로 인해 실시간으로 변화한다.

따라서 부족한 주파수 대역폭 및 주어진 통신환경에서 최소 데이터 요구사항을 만족시키면서 전체 데이터 전송 속도를 최대로 하는 효율적인 자원할당에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 TDMA를 기반으로 주어진 네트워크 환경(대역폭, 변조방식 등)에서 최소 데이터 요구사항을 만족시키는 동시에 네트워크 처리율을 최대로 하는 자원할당 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. 2장에서는 무인기 MAC 프로토콜 및 기타 관련 연구에 대해 설명하고 3장에서는 제안하는 자원할당 알고리즘을 설명하고 4장에서는 성능분석을 수행하며 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

무인기 시스템을 위한 MAC 프로토콜에는 크게 CSMA(Carrier Sense Multiple Access), FDMA (Frequency Division Multiple Access), TDMA(Time Division Multiple Access) 이 있다. CSMA는 채널 상태를 감지하여 충돌을 회피하는 방식이지만 무인기간 동시 전송시 충돌 발생이 불가피한 기법이다^[12]. FDMA는 사용 가능한 주파수 대역을 여러 개의 채널로 구분하여 각 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)를 서로 다른 채널에 할당하는 방식으로 할당된 주파수 대역이 UAV에게 보장되는 장점이 있지만, 다수의 UAV에 할당하기 위해서는 많은 대역폭이 요구되거나 할당대역폭을 줄여야 하는 단점이 있다. TDMA는 각 UAV가 타임 슬롯을 나누어 통신하는 방식으로 자신의 타임슬롯에만 동작하기 때문에 전력 소모를 줄일 수 있고, 정확한 타임슬롯 시작시간을 알아야 하기 때문에 시간동기가 중요하다^[13]. 본 장에서는 대표적인 무인기 MAC 프로토콜인 TDMA 관련 연구 및 기타 MAC 프로토콜 관련 연구에 대해 설명한다. 또한, 무인기 데이터링크의 요구 대역폭 도출에 관련된 연구에 대해 설명한다.

1. 무인기 TDMA 자원할당 및 스케줄링 관련연구

Jang 등의 논문에서는 기존 TDMA MAC에서 한 타임슬롯 안에 데이터와 ACK(acknowledgement)를 받아야 하는 것으로 인한 2개의 보호구간(guard time)과 이로 인한 오버헤드를 지적하고 이를 해결하기 위해 한 타임슬롯당 1개의 보호구간이 있는 프레임 구조와 지연 ACK 메커니즘을 제안하였다^[14]. Young의 논문에서는 Bootstrap, Broadcast, Reservation으로 나뉜 슬롯구간에 distance 2 vertex-coloring 문제를 이용하여 각 노

드가 2-hop 이웃노드로부터 interference를 피하도록 슬롯할당을 하는 USAP(Unifying Slot Assignment Protocol) 프로토콜을 제안하였다^[15]. Younis 등의 논문에서는 기존 USAP에서 고정된 2-hop 이웃정보를 사용하는 대신 radio interference 모델을 사용하여 분산적인 방식으로 타임슬롯 스케줄링과 채널할당을 동시에 최소화하는 C-USAP(Cognitive -USAP) 알고리즘 제안하였다^[16]. Baek 등의 논문에서는 효과적인 이미지 전송을 위해 Link-16의 MAC을 진화시킨 DTDMA 프로토콜 및 새로운 패킹방법 포함한 Link-16K를 제안하였다^[17].

2. 기타 무인기 MAC 프로토콜 관련연구

Jo 등의 논문에서는 민간항공기에서 사용하는 다중 접속 제어 방식인 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance)를 무인기에 적용하여 메시지 크기에 따른 데이터 처리량 및 지연시간을 비교를 통하여 이의 적용 가능성을 확인하였다^[18]. Ho 등의 논문에서는 무선 센서 네트워크와 무인기 시스템 사이의 PER(Packet Error Rate)을 줄이기 위해 센서들의 우선 순위 결정하는 우선 순위 프레임 선택(PFS, Prioritized Frame Selection) 방식을 이용하는 FRA(Frame based Random Access) 방법을 제안하였다^[19]. Lee 등의 논문에서는 hybrid FDMA/TDMA 구조를 기반으로 UAV 별로 RTT(Round Trip Time)와 트래픽 크기를 고려한 반복적 정렬 알고리즘을 통해 UAV의 시간/주파수 자원을 스케줄링하는 기법을 제안하였다^[12].

3. 무인기 데이터링크 요구 대역폭 관련 연구

무인기 데이터링크에서 필요한 주파수 대역폭에 관한 많은 연구들이 수행되었다. ITU-R M.2171 보고서에 따르면 무인기 시스템을 위한 최대 주파수 대역폭은 지상 시스템(무인기, 지상제어국)은 34MHz, 위성 시스템(무인기, 위성, 지상제어국)은 56MHz가 필요하다고 예측되었다^[8]. NASA에서는 UAS(Unmanned Aerial System)의 안전하고 신뢰할 수 있는 운용을 위한 UAS 제어 & ATC 통신 대역폭 요구사항을 예측하였는데, 제어통신 위한 대역폭은 networked 환경에서는 10-11.4 MHz, non-networked 환경에서는 3.6-4.1 MHz, ATC 음성통신 위한 대역폭은 2.7-3.1 MHz, ATC 데이터통신을 위한 대역폭은 5.2-5.9 MHz가 필요하다고 예측하였다^[9]. Kakar의 논문에서는 주파수 효율(spectral efficiency), 주파수 대역폭 요구사항 등 CNPC 링크를 위한 주파수 요구사항에 대해 연구하였다. 또한, 무인기

시스템을 위한 동적인 주파수 대역 할당과 주파수 대역 관리가 필요하다고 설명하고 있다^[20].

III. 제안하는 자원할당 알고리즘

제안하는 알고리즘은 TDMA를 기반으로 자원, 즉, 타임슬롯을 할당하는 알고리즘이다. 먼저, 자원할당의 기본이 되는 프레임구조를 그림 1과 같이 정의하였다. 1프레임의 사이즈는 100 ms로 정했는데, 이는 최대 업데이트 주기 10 Hz를 만족시킬 수 있도록, 즉, 100 ms마다 업데이트가 이루어질 수 있도록 정했다^[9]. 그리고 상향링크 제어메시지, 하향링크 제어메시지, 기타 데이터 순으로 할당되며, 각 데이터 종류별 요구 데이터량을 전송할 수 있도록 1 ms 단위 타임슬롯을 연속적으로 묶은 후 보호구간을 붙이는 방식으로 자원할당을 한다. 보호구간 사이즈는 Baek 등의 논문에서 보호구간 비율을 참조하여 250 μ s로 정하였다^[17].

제안하는 알고리즘은 그림 2의 의사코드와 같이 표현된다. 먼저, 변조방식, 채널환경, code rate 등을 고려한 주파수 효율과 주파수 대역폭이 결정되면 이를 기반으로 식 (1)과 같이 단위 타임슬롯당 전송가능한 데이터 사이즈를 계산한다.

$$D_{unit} = \frac{\text{spectral efficiency} \times \text{bandwidth}}{1/T_{unit}} \quad (1)$$

D_{unit} 은 단위 타임슬롯당 전송가능한 데이터 사이즈, T_{unit} 은 단위 타임슬롯의 크기로 본 논문에서는 1 ms로 정했다.

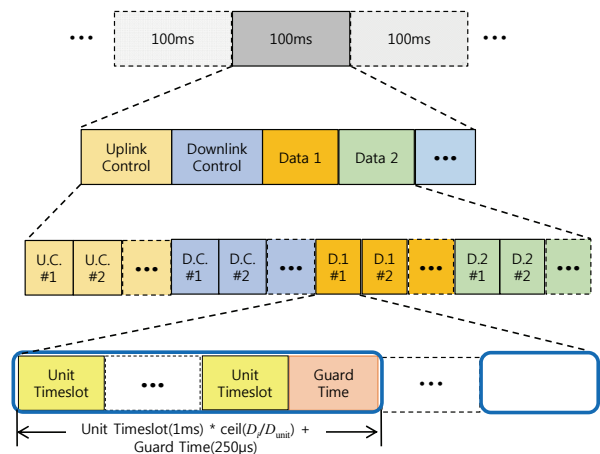


그림 1. 프레임 구조
Fig. 1. Frame Structure.

그 다음, 상향링크 제어메시지, 하향링크 제어메시지, 기타 데이터 별로 무인기 1대에 대한 요구 data rate을 만족시키기 위해 한 프레임 구간에 전송해야 할 데이터 사이즈를 식 (2), (3), (4)와 같이 계산한다.

$$D_{CS} = \frac{R_{CS}}{1/T_{frame}}, \quad (2)$$

$$D_{UAV} = \frac{R_{UAV}}{1/T_{frame}}, \quad (3)$$

$$D_i = \frac{R_i}{1/T_{frame}}, \quad i \in \mathbf{I}, \quad (4)$$

여기서 D_{CS} , D_{UAV} , D_i 는 각각 상향링크 제어메시지, 하향링크 제어메시지, 데이터 i 별로 한 프레임에 전송해야 할 데이터 사이즈, R_{CS} , R_{UAV} , R_i 는 각각 상향링크 제어정보, 하향링크 제어정보, 데이터 i 의 요구 data rate, T_{frame} 은 한 프레임 사이즈로 본 논문에서는 100 ms로 정하였다. 데이터 i 는 전체 데이터 종류 집합 \mathbf{I} 에 속한 데이터 종류 중 제어 메시지를 제외한 것 중 하나를 의미하며, 무인기의 임무 등에 따라 음성, 영상 등 다양한 데이터 종류가 포함될 수 있다.

그 다음, 식 (2), (3), (4)를 통해 구한 요구 데이터 사이즈를 이용하여 각 데이터별 요구 데이터 사이즈를 전송하는데 필요한 시간을 식 (5), (6), (7)을 이용하여 구한다.

$$t_{CS} = \left\lceil \frac{D_{CS}}{D_{unit}} \right\rceil \times T_{unit} + T_{guard}, \quad (5)$$

$$t_{UAV} = \left\lceil \frac{D_{UAV}}{D_{unit}} \right\rceil \times T_{unit} + T_{guard}, \quad (6)$$

$$t_i = \left\lceil \frac{D_i}{D_{unit}} \right\rceil \times T_{unit} + T_{guard}, \quad i \in \mathbf{I}, \quad (7)$$

여기서 $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 작지 않은 최소의 정수 값을 구하는 함수이며, t_{CS} , t_{UAV} , t_i 는 각각 상향링크 제어메시지, 하향링크 제어메시지, 데이터 i 의 요구 데이터 사이즈 전송시간이며, T_{guard} 는 보호구간 사이즈로 본 논문에서는 250 μ s로 정하였다.

그 다음, 상향 및 하향링크 제어메시지만 전송시 최대 할당가능한 무인기 대수 n_{max} 를 다음과 같이 구한다.

$$n_{max} = \left\lfloor \frac{T_{frame}}{t_{CS} + t_{UAV}} \right\rfloor, \quad (8)$$

여기서 $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 작거나 같으면서 가장 큰 정수로 정의된다.

Algorithm 1 UAV Resource Allocation Algorithm

```

1: Phase 1 Calculate unit data volume per unit timeslot
2:    $D_{unit} = \frac{\text{spectral efficiency} \times \text{bandwidth}}{1/T_{unit}}$ 
3: Phase 2 Calculate data requirement volume per frame
4:    $D_{CS} = \frac{R_{CS}}{1/T_{frame}}$ ,
    $D_{UAV} = \frac{R_{UAV}}{1/T_{frame}}$ ,
    $D_i = \frac{R_i}{1/T_{frame}}, \quad i \in \mathbf{I}$ .
5: Phase 3 Calculate allocation requirement time per frame
6:    $t_{CS} = \left\lceil \frac{D_{CS}}{D_{unit}} \right\rceil \times T_{unit} + T_{guard}$ ,
    $t_{UAV} = \left\lceil \frac{D_{UAV}}{D_{unit}} \right\rceil \times T_{unit} + T_{guard}$ ,
    $t_i = \left\lceil \frac{D_i}{D_{unit}} \right\rceil \times T_{unit} + T_{guard}, \quad \forall i \in \mathbf{I}$ .
7: Phase 4 Calculate the maximum number of UAVs to be acceptable for allocation
8:    $n_{max} = \left\lfloor \frac{T_{frame}}{t_{CS} + t_{UAV}} \right\rfloor$ 
9: Phase 5 Decide the number of UAVs to allocate for uplink and downlink control messages
10:   $n \in [0, n_{max}]$ 
11: Phase 6 Decide the number of timeslot to allocate for data  $i$ 
12:  if  $T_{frame} - (t_{CS} + t_{UAV}) \times n < \min(t_i), \quad \forall i \in \mathbf{I}$ 
13:     $n_i = 0, \quad \forall i \in \mathbf{I}$ 
14:  else
15:     $n_i = \left\lfloor \frac{w_i \times \{T_{frame} - (t_{CS} + t_{UAV}) \times n\}}{t_i} \right\rfloor, \quad \forall i \in \mathbf{I}$ ,
     $w = \arg \max_{w_i \in [0,1]} \frac{(D_{CS} + D_{UAV}) \times n + \sum_{i=1}^I (w_i \times D_{rev})}{T_{frame}}$ ,
     $D_{rev} = \{T_{frame} - (t_{CS} + t_{UAV}) \times n\} \times \text{spectral efficiency} \times \text{bandwidth}$ .
16:  end if
17: Phase 7 Calculate the allocation time per frame
18:    $T_{CS} = t_{CS} \times n$ ,
    $T_{UAV} = t_{UAV} \times n$ ,
    $T_i = t_i \times n_i, \quad \forall i \in \mathbf{I}$ 

```

그림 2. 제안하는 알고리즘 의사코드

Fig. 2. Pseudo code of proposed algorithm.

그 다음, 실제로 할당하려는 무인기 대수 n 을 n_{max} 가 넘지 않도록 정한다. 한 프레임 안에 무인기 n 대를 위한 상하향 제어메시지 타임슬롯을 할당하고, 남은 시간에 기타 데이터를 할당하기 위한 시간이 남았는지를 다음과 같은 조건을 통해 확인한다.

$$T_{frame} - (t_{CS} + t_{UAV}) \times n < \min(t_i), \quad \forall i \in \mathbf{I}. \quad (9)$$

식 (9)를 만족하면, 기타 데이터를 할당할 공간이 없으므로, 모든 데이터 종류에 대해서 타임슬롯을 할당하지 못하고 ($n_i = 0$), 식 (9)를 만족하지 못하면, 남은 타임슬롯구간에 데이터 종류별로 가중치를 두어 타임슬롯 수를 구한다. 이 때, 각 데이터 종류별 할당 가중치는 다음과 같이 구한다.

$$\mathbf{w} = \arg \max_{w_i \in [0,1]} \frac{(D_{CS} + D_{UAV}) \times n + \sum_{i=1}^I (w_i \times D_{rev})}{T_{frame}}, \quad (10)$$

w 는 데이터 할당 가중치 집합, w_i 는 데이터 i 의 할당 가중치를 의미하며 모든 데이터 할당 가중치의 합은 1이어야 한다. D_{CS} , D_{UAV} 는 각각 상향링크 제어메시지, 하향링크 제어메시지, 한 프레임에 전송해야 할 데이터 사이즈이며, D_{rev} 는 상향링크, 하향링크 제어메시지 할당하고 남은 시간에 전송 가능한 데이터 사이즈이며 다음과 같이 정의된다.

$$D_{rev} = \{T_{frame} - (t_{CS} + t_{UAV}) \times n\} \times \text{spectral efficiency} \times \text{bandwidth} \quad (11)$$

식 (10)을 통해 구한 가중치를 기반으로 다음과 같이 각 데이터 i 에 할당할 타임슬롯 수를 구한다.

$$n_i = \left\lfloor \frac{w_i \times \{T_{frame} - (t_{CS} + t_{UAV}) \times n\}}{t_i} \right\rfloor, \quad \forall i \in \mathbf{I}, \quad (12)$$

n_i 는 데이터 i 에 할당할 타임슬롯 수이다.

이렇게 모든 데이터 종류별로 할당 타임슬롯 수가 정해지면 다음과 같이 데이터 종류별 할당시간을 계산한다.

$$T_{CS} = t_{CS} \times n, \quad (13)$$

$$T_{UAV} = t_{UAV} \times n, \quad (14)$$

$$T_i = t_i \times n_i, \quad \forall i \in \mathbf{I}. \quad (15)$$

여기서 T_{CS} , T_{UAV} , T_i 는 각각 상향링크 제어메시지, 하향링크 제어메시지, 데이터 i 에 할당된 시간이다.

IV. 성능분석

제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 시뮬레이션을 시행하였다. 먼저, 무인기 데이터링크 환경은 Kakar의 논문을 참고하였으며, 자세한 데이터는 표 1에 나와있다^[20]. 이 때 필요 대역폭보다 부족한 환경을 가정하기 위해 주파수 대역폭은 Kakar의 논문에서 도출한 요구 대역폭 5 MHz 보다 작은 2 MHz로 설정하였다^[20]. 또한, 제안한 알고리즘과 비교를 위해 요구 전송

표 1. 성능분석 환경

Table1. Performance analysis environment.

Parameter	Value	
Modulation	QPSK	
Code rate	0.646	
Spectral efficiency	1.287	
Bandwidth (MHz)	2	
Requirement data rate (bps)	Uplink control	30.794 k
	Downlink control	44.734 k
	Data 1 (Weather radar)	27.7 k
	Data 2 (video)	270 k

속도가 높은 데이터에 높은 할당 가중치를 준 고정적인 할당 가중치 시나리오를 설정하였고, 그 가중치는 $w_1 = 0.2$, $w_2 = 0.8$ 로 설정하였다. 각 데이터 종류별 실제 전송할 데이터 양은 요구 data rate과 요구 data rate의 1.5 배 사이 구간에서 uniform 분포로 랜덤하게 발생시켰다. 그리고 모든 결과값은 시뮬레이션 100회 수행한 값의 평균값으로 나타내었다.

표 2는 제안한 알고리즘과 고정 할당가중치 방법의 데이터 1, 2 타임슬롯 할당 가중치를 나타내었다. 제안한 알고리즘은 무인기 대수에 따라 할당 가중치를 다르게 설정하는 것을 확인할 수 있다. 특히, 제안한 알고리즘에서는 무인기 대수가 20, 21 일 때에는 고정가중치의 경우와 달리 요구 data rate이 적은 데이터 1의 할당 가중치가 더 높은 것을 볼 수 있는데, 이는 제어 메시지를 할당하고 남은 타임슬롯이 요구 data rate이 높은 데이터 2를 할당하기에는 충분하지 않으므로 데이터 1에 더 높은 할당 가중치를 두어 남은 타임슬롯을 데이터 1을 위해 할당함으로써 네트워크 처리율을 최대로 할 수 있도록 하기 때문이다.

표 3은 제안한 알고리즘과 고정 할당 가중치 방법의 상향링크, 하향링크 제어메시지 타임슬롯 할당시간을 나타내었다. 할당가중치를 결정하는 2가지 방법 모두 같은 시간의 타임슬롯이 할당된 것을 확인할 수 있는데, 이는 제어메시지를 위한 타임슬롯 할당은 할당가중치에 영향을 받지 않는 것을 보여준다. 표 4는 기타 데이터 1, 2의 자원할당 시간을 보여준다. 표에서 보는 바와 같이 제안하는 알고리즘은 표 2의 할당 가중치에 따라 타임슬롯 할당이 이루어졌음을 확인할 수 있다.

표 2. 데이터 1, 2 타임슬롯 할당 가중치

Table2. Timeslot allocation weighting of data 1, 2.

# of UAVs	Optimization		Weighting by Data Rate	
	w_1	w_2	w_1	w_2
1	0	1	0.2	0.8
2	0	1	0.2	0.8
3	0.2	0.8	0.2	0.8
4	0	1	0.2	0.8
5	0.1	0.9	0.2	0.8
6	0.2	0.8	0.2	0.8
7	0	1	0.2	0.8
8	0.1	0.9	0.2	0.8
9	0	1	0.2	0.8
10	0.1	0.9	0.2	0.8
11	0.1	0.9	0.2	0.8
12	0	1	0.2	0.8
13	0.4	0.6	0.2	0.8
14	0	1	0.2	0.8
15	0.3	0.7	0.2	0.8
16	0.1	0.9	0.2	0.8
17	0	1	0.2	0.8
18	0.4	0.6	0.2	0.8
19	0.2	0.8	0.2	0.8
20	1	0	0.2	0.8
21	0.9	0.1	0.2	0.8
22	0	1	0.2	0.8

표 3. 상향링크, 하향링크 제어정보 타임슬롯 할당시간

Table3. Timeslot allocation time of uplink and downlink control messages.

# of UAVs	Optimization (ms)		W. by Data Rate (ms)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
1	2.25	2.25	2.25	2.25
2	4.5	4.5	4.5	4.5
3	6.75	6.75	6.75	6.75
4	9	9	9	9
5	11.25	11.25	11.25	11.25
6	13.5	13.5	13.5	13.5
7	15.75	15.75	15.75	15.75
8	18	18	18	18
9	20.25	20.25	20.25	20.25
10	22.5	22.5	22.5	22.5
11	24.75	24.75	24.75	24.75
12	27	27	27	27
13	29.25	29.25	29.25	29.25
14	31.5	31.5	31.5	31.5
15	33.75	33.75	33.75	33.75
16	36	36	36	36
17	38.25	38.25	38.25	38.25
18	40.5	40.5	40.5	40.5
19	42.75	42.75	42.75	42.75
20	45	45	45	45
21	47.25	47.25	47.25	47.25
22	49.5	49.5	49.5	49.5

표 4. 데이터 1, 2 타임슬롯 할당시간

Table4. Timeslot allocation time of data 1, 2.

# of UAVs	Optimization (ms)		W. by Data Rate (ms)	
	Data 1	Data 2	Data 1	Data 2
1	0	90	18	67.5
2	0	90	18	67.5
3	15.75	67.5	15.75	67.5
4	0	78.75	15.75	56.25
5	6.75	67.5	13.5	56.25
6	13.5	56.25	13.5	56.25
7	0	67.5	13.5	45
8	4.5	56.25	11.25	45
9	0	56.25	11.25	45
10	4.5	45	9	33.75
11	4.5	45	9	33.75
12	0	45	9	33.75
13	15.75	22.5	6.75	22.5
14	0	33.75	6.75	22.5
15	9	22.5	4.5	22.5
16	2.25	22.5	4.5	11.25
17	0	22.5	4.5	11.25
18	6.75	11.25	2.25	11.25
19	2.25	11.25	2.25	11.25
20	9	0	0	0
21	4.5	0	0	0
22	0	0	0	0

반면에 고정 할당 가중치 방법은 무인기가 20대 이상부터는 데이터 1, 2 모두 타임슬롯을 할당하지 못한다. 이는 고정된 할당가중치로 인해 각 데이터 1, 2에 할당가능한 타임슬롯 안에 각 데이터 1, 2의 요구 data rate를 만족시키면서 전송이 불가능하기 때문에 타임슬롯을 할당하지 못했다. 따라서 제안하는 알고리즘과 같이 네트워크 처리율을 최대화 하는 타임슬롯 할당 가중치를 찾는 방법이 좀 더 효율적인 자원할당 방법이라고 할 수 있다.

그림 3, 4는 각각 상향링크, 하향링크 제어메시지의 무인기 당 평균 data rate를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 요구 data rate 이상의 평균 data rate를 보여주고 있다. 이를 통해 제안한 알고리즘이 두 링크의 제어메시지를 위한 타임슬롯 할당을 적절히 이루어졌음을 확인할 수 있다.

그림 5와 6은 데이터 종류 1, 2의 무인기 당 평균 data rate를 나타낸다. 앞서 설명한 바와 같이 제안한 알고리즘은 제어 메시지를 제외한 데이터는 네트워크 처리율을 최대화 하는 타임슬롯 할당 가중치를 구해이에 따라 타임슬롯을 할당한다. 그림 5에서 보면 제안한 알고리즘은 표 2에서 할당 가중치가 0인 경우를 제외하고는 무인기 당 평균 data rate이 데이터 1의 요구

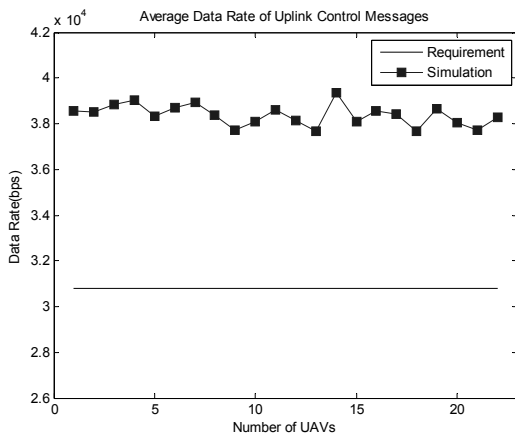


그림 3. 무인기 당 상향링크 제어 메시지 평균 Data rate
Fig. 3. Average data rate of uplink control message per UAV.

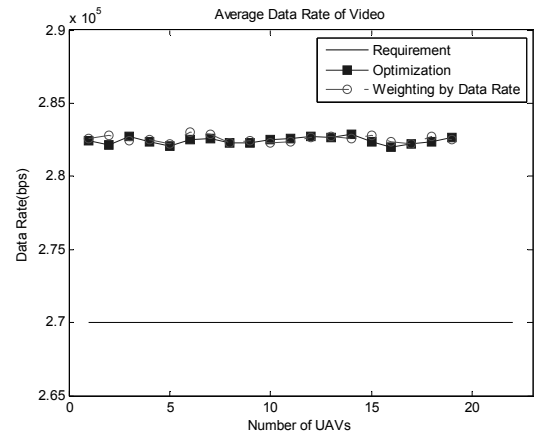


그림 6. 무인기 당 데이터 2(영상) 평균 Data rate
Fig. 6. Average data rate of data 2 (video) per UAV.

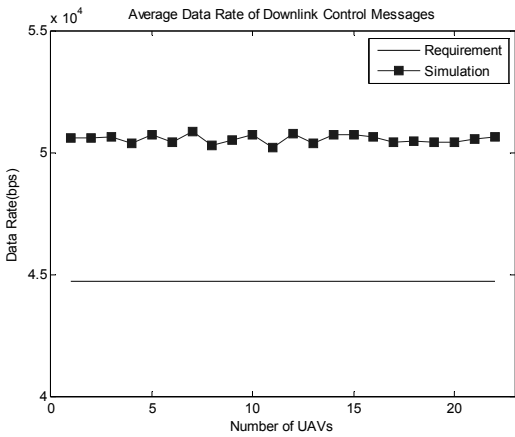


그림 4. 무인기 당 하향링크 제어 메시지 평균 Data rate
Fig. 4. Average data rate of downlink control message per UAV.

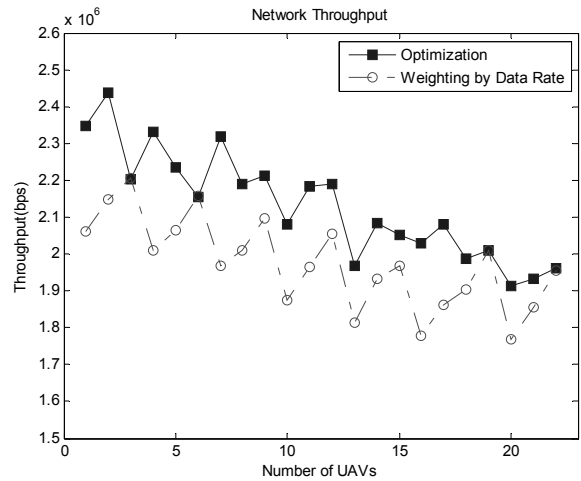


그림 7. 전체 네트워크 처리율
Fig. 7. Total network throughput.

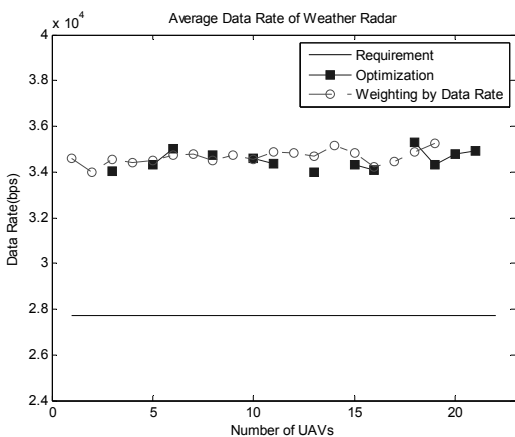


그림 5. 무인기 당 데이터 1 (날씨 레이더) 평균 Data rate.
Fig. 5. Average data rate of data 1 (weather radar) per UAV.

data rate를 만족하는 것을 확인할 수 있다. 그림 6도 이와 마찬가지로 제안하는 알고리즘은 표 2에서 할당 가중치가 0인 경우를 제외하고는 무인기 당 평균 data rate이 데이터 2의 요구 data rate를 만족하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 제안한 알고리즘이 데이터 요구사항을 만족시키는 타임슬롯 할당을 할 수 있음을 알 수 있다.

그림 7은 무인기 수에 따른 전체 네트워크 처리율을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 제안하는 알고리즘의 네트워크 처리율이 고정 할당 가중치의 경우보다 모든 무인기 대수에서 같거나 높은 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 제안하는 알고리즘이 높은 네트워크 처리율을 만족하는 타임슬롯 할당이 가능함을 보여주었다. 그러나 무인기 대수가 증가함에 따라 네트워크 처리율이 감소하는 것을 볼 수 있는 데, 이는 무인기 대

수에 비례하여 할당된 보호구간이 증가하기 때문이다. 따라서 이러한 보호구간을 최소화하는 프레임 구조의 설계가 필요하다.

V. 결 론

본 논문에서는 주어진 네트워크 환경에서 데이터 종류별 최소 요구 data rate를 만족시키면서 네트워크 처리율을 최대로 하는 TDMA 기반 자원할당 알고리즘을 제안하였다. 성능분석을 통해 제안한 알고리즘을 통해 주어진 환경 별로 상향링크와 하향링크 제어 메시지 및 기타 데이터 별 요구사항을 만족하는 동시에 네트워크 처리율을 최대로 하는 자원할당이 가능함을 확인하였다. 하지만, 제안한 알고리즘에서는 무인기 대수에 비례하여 네트워크 처리율이 감소하는 문제가 존재하며, 이를 해결하기 위해 보호구간과 같은 오버헤드를 최소화하는 프레임 구조 설계에 대한 후속 연구를 진행할 계획이다.

REFERENCES

- [1] I. J. Kang, H. S. Lee and I. J. Cho, "The Development and Standardization of UAV Ground Control Software based on STANAG 4586," Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers vol.30, no.9, pp. 46-56, September 2012.
- [2] Teal Group, "2016 World Military Unmanned Aerial Vehicle Systems Market Profile and Forecast," October 2016.
- [3] Teal Group, "2016 World Civil Unmanned Aerial Vehicle Systems Market Profile and Forecast," July 2016
- [4] RTCA, "SC-228 Minimum Operational Performance Standards for Unmanned Aircraft Systems," <http://www.rtca.org>
- [5] ERSG, "Roadmap for the Integration of Civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System," June 2013.
- [6] NATO Standardization Agency, "STANAG 4586 (Edition 3) - Standard Interfaces of UAV Control System(UCS) for NATO UAV Interoperability," NSA/1235(2012)4586, November 2012.
- [7] H. W. Kim, K. S. Kang, D. I. Chang, and J. Y. Ahn, "Technical and Standardization Trends on Control and Non-Payload Communications for Unmanned Aircraft Systems," Electronics and Telecommunications Trends, vol. 30, no. 3, pp. 74-83, June 2015.
- [8] ITU-R, "Characteristics of Unmanned Aircraft Systems and Spectrum Requirements to Support Their Safe Operation in Non-Segregated Airspace," ITU-R M.2171, December 2009
- [9] S. Henriksen, "Unmanned Aircraft System Control and ATC Communications Bandwidth Requirements," NASA/CR?2008-214841, Febuary 2008
- [10] C. Chavez, B. Hammell, A. Hammell, and J. R. Moore "NASA CNPC System Waveform Trade Studies," NASA/CR-2014-2116673, June 2014.
- [11] J. S. Eum and B. O. Ahn, "Development trends and preview point of MPI-CDL in Israel," KIDA Defense Weekly, no. 1404, April 2012
- [12] K. Lee, D. H. Lee, D. H. Lee, S. J. Jung, and H.J. Choi, "A Resource Scheduling Based on Iterative Sorting for Long-Distance Airborne Tactical Communication in Hub Network," Journal of KICS, vol. 39, no. 12, pp. 1250-1260, December 2014.
- [13] S. Y. Bai, Y. S. Park, and J. I. Jung, "A Study Of TDMA Protocol For UAV Communication Networks," in Proc. of 2011 IEEK Summer Conference, pp. 217-219, June 2011.
- [14] H. Jang, H. Noh, and J. Lim, "Airborne TDMA for High Throughput and Fast Weather Conditions Notification," International Journal of Computer Networks & Communications, vol. 3, no. 3, pp. 206-220, May 2011.
- [15] C. D. Young, "USAP Multiple Access: Dynamic Resource Allocation for Mobile Multihop Multichannel Wireless Networking," in Proc. of IEEE MILCOM 1999, November 1999.
- [16] O. Younis, D. Shallcross, L. Kant, K. Young, C. Graff, M. Patel, "TDMA Scheduling and Channel Assignment for Cognitive Tactical Networks," in Proc. of IEEE MILCOM 2012, October 2012.
- [17] H. Baek, J. Lim, J. Koo, J. Jin, P. Chun, and I. Oh, "Reliable Dynamic TDMA Scheme with new Packing method for Image Transmission over Link-16," Journal of KICS, vol. 37, no. 22, pp. 1045-1053, November 2012.
- [18] Y. H. Jo, I. S. Yoon, S. U. Kim, and H. D. Park, "A Study on the MAC(Media Access Control) protocol for Unmanned Aerial Vehicle(UAV)," The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 11, no. 1, pp. 119-124, January 2016.
- [19] D. T. Ho, and S. Shimamoto, "Highly Reliable Communication Protocol for WSNUAV System Employing TDMA and PFS Scheme," in Proc. of IEEE GLOBECOM Workshops 2011, December 2011.

[20] J. A. Kakar, "UAV Communications: Spectral Requirements, MAV and SUAV Channel Modeling, OFDM Waveform Parameters, Performance and Spectrum Management," Virginia Tech Master Theses [16970], May 2015.

저 자 소 개



천 혜 림(학생회원)
2006년 아주대학교 전자공학부 졸업
2011년~현재 아주대학교 전자공학과 석박사통합과정
<주관심분야: MAC 프로토콜, Full duplex, 소형셀, LIPA/SIPTO, 무인기 네트워크 등>



황 찬 호(정회원)
2013년 8월 한국해양대학교 전과공학과 졸업
2015년 8월 한국해양대학교 전과공학과 석사
2016년~현재 국방과학연구소 연구원
<주관심분야: 디지털 통신, 신호처리>



이 우 신(정회원)
2001년 2월 광운대학교 컴퓨터공학 공학사 졸업
2003년 2월 광운대학교 컴퓨터공학 공학석사 졸업
2007년 8월 광운대학교 컴퓨터공학 공학박사 졸업

2008년 1월~현재 한화시스템 지휘통제·통신연구소 수석연구원
<주관심분야: 군용데이터링크, 전술네트워크, 무인기 제어/관리 시스템, 자원할당 스케줄링 등>



유 인 덕(정회원)
2010년 2월 강원대학교 컴퓨터학부 공학사 졸업
2010년 1월~현재 한화시스템 선임연구원
<주관심분야: 국방 전술네트워크, 위성통신 및 시스템 설계 등>



김 재 현(평생회원)
1987년~1996년 한양대학교 전산과 학사 및 석/박사 졸업
1997년~1998년 미국 UCLA 전기전자과 박사 후 연수
1998년~2003년 Bell Labs, NJ, USA, 연구원

2003년~현재 아주대학교 전자공학과 교수
<주관심분야: QoE/QoS, 무선 MAC 프로토콜, IEEE 802.11/15, B5G 통신 시스템, 국방 전술네트워크, 위성시스템 등>