

대규모 군집 드론을 위한 경쟁 기반 시분할 채널 접근 기법

이응규*, 고영배^o

A Contention-Based Time-Division Channel Access Scheme for Large-Scale Swarming Drones

Eungkyu Lee*, Young-Bae Ko^o

요약

본 논문에서는 군집 드론 네트워크에서의 군집 내 드론간 안전 메시지 송신을 보장해주기 위한 TDMA 기반의 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. 일반적으로 대규모 군집 드론은 무인 항공기나 자율주행 자동차 네트워크에 비해 높은 밀집도를 갖기 때문에 드론들 간의 충돌을 막기 위한 상호 위치 정보 공유가 매우 중요하다. 이에 제안 기법에서는 경쟁을 기반으로 타임 슬롯을 점유하는 방식을 통해 드론에게 데이터 전송 기회를 보장해주는 한편, 이전 프레임에서 슬롯을 점유한 드론에게는 더 짧은 back-off 시간을 주어 해당 슬롯에 대한 우선권이 부여되도록 함으로써 안전 메시지의 전송을 보장하고자 하였다. 본 논문에서 제안하는 기법은 NS-3 시뮬레이터를 통해 구현 및 평가되었으며, 제안 기법이 차량통신 표준인 WAVE에 비하여 메시지 충돌 문제로부터 빠르게 복구되는 것을 확인하였으며, 또한 높은 패킷 수신율을 유지하는 것을 확인하였다.

Key Words : Swarming Drones, WAVE, TDMA, Safety Message, FANET

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel TDMA-based MAC protocol for ensuring the transmission of safety messages between the drones in swarming drone networks. In general, large-scale swarming drones tend to have a higher density compared to unmanned aerial vehicles or autonomous vehicular networks. Therefore, in order to avoid a collision, it is very important for each drone to successfully share their location information with others. The proposed scheme guarantees an opportunity of data transmission to the drones by occupying time slots through competition. It also gives priority to the drone which has occupied a slot in the previous frame to ensure the safety message transmission. The proposed scheme is implemented and evaluated by using NS-3 simulator and we confirmed that the proposed scheme can recover from the message collision problem faster than the existing WAVE protocol, with the high packet reception ratio.

I. 서론

최근 배터리 성능의 비약적인 발전과 자율 비행으

로 응용이 가능한 오픈소스의 등장으로 드론을 활용한 다양한 연구가 진행되고 있다¹⁾. 드론은 혼잡한 도심 속에서도 차량과는 달리 일정 속도를 유지하며 날

* 이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2015 R1D1A1A01059049)

• First Author : Ajou University Department of Computer Engineering, eungkyu@uns.ajou.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Ajou University Department of Computer Engineering, youngko@ajou.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2017-10-292, Received October 7, 2017; Revised December 4, 2017; Accepted December 11, 2017

아다닐 수 있다는 장점이 있다. 그렇기 때문에 기존에는 접근하기 힘들었던 지역이나 장소에 쉽게 접근할 수 있는 접근성과 도심의 혼잡함으로 인해 시간적 한계에 부딪혀 제공할 수 없던 다양한 서비스들을 제공하기 위한 차세대 ICT 서비스의 핵심 기술로 각광받고 있다. 특히 아마존에서는 Prime air로 불리는 단일 드론을 이용한 택배 서비스를 제공하기 위해 박차를 가하며 드론을 이용한 서비스 활성화에 선두주자로 나서고 있다.

많은 서비스들이 단일 드론을 이용한 서비스를 고려하고 있지만, 단일 드론의 경우 배터리 혹은 중량의 문제로 수행할 수 있는 역할에 한계가 존재한다. 그렇기 때문에 국방 분야와 일부 서비스 분야에서는 단일 드론의 한계를 넘어서 새로운 영역으로 서비스를 확장하기 위해 여러 대의 드론을 이용하는 군집 드론에 관한 연구를 진행 중이다^{2,4)}. 군집 드론의 경우 서로의 역할을 분담하여 배터리를 절약시킬 수 있고, 힘을 합쳐 무거운 짐을 들 수도 있다. 또한 군집을 이루는 일부 드론이 고장이 발생하더라도 역할을 재분배하여 공통의 임무를 정상적으로 수행할 수 있어 활용 방안이 많아진다. 하지만 드론의 경우 차량과 달리 하늘을 고속으로 이동하기 때문에 충돌 사고가 발생하였을 때 비행기 추락사고와 같은 2차 피해가 발생할 가능성이 매우 높다. 따라서 군집 드론의 경우 군집 비행을 수행하기 위해 서로 충돌을 막기 위한 정교한 위치 인식 시스템과 측정한 위치를 서로 교환할 수 있는 실시간성이 보장되는 신뢰성 있는 통신 기술을 필요로 한다. 현재 대부분의 군집 드론들은 군집 내에 존재하는 군집 헤더 드론이 다른 드론들의 이동방향을 제어하는 구조로 이루어져 있다. 그렇기 때문에 군집을 이루는 드론들 간의 정보 교환이 매우 중요하다. 하나의 헤더 드론이 파악할 수 있는 주변 상황에는 한계가 있기 때문에 드론간의 정보 공유를 통해 주변 상황을 정확하게 파악해야 하기 때문이다. 하지만 드론을 위한 다양한 서비스들이 등장하고 있음에도 불구하고 드론간 안정적인 메시지 전달을 보장해주기 위한 표준은 제정되지 않고 있다.

이에 본 논문에서는 고속으로 이동하는 자율 주행 자동차들을 위해 제정된 IEEE 표준인 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)⁵⁾를 적용해보고, 대규모 군집 드론 환경에서 발생하는 문제점을 개선하기 위한 알고리즘을 제안한다.

2장에서는 군집을 이루는 드론의 통신을 보장해주기 위한 관련 연구에 대해 분석하였으며, 3장에서는 경쟁을 통해 시간 슬롯을 점유하는 제안 기법에 대해

설명하였다. 4장에서는 NS-3 시뮬레이터를 이용하여 군집단위의 패킷 전송률(Packet Delivery Ratio) 측정 및 메시지 충돌이 발생시 복구과정을 통해 제안 기법의 우수성을 검증하였다.

II. 관련 연구

좁은 범위에서 밀집되어 비행하는 군집 드론환경의 경우 안전 비행 거리 유지를 위해 주기적인 위치 정보 교환이 필요하다. 하지만 군집 드론을 이용한 다양한 서비스가 개발되고 있음에도 불구하고 군집 드론간의 데이터 전송을 보장해주기 위한 MAC 기법 연구가 부족한 상태이다. 이에 본 논문에서는 드론과 같이 고속으로 이동하는 자율주행 자동차나 무인 항공기를 대상으로 시분할 기법을 적용해 통신을 보장해주기 위해 제안된 관련 연구를 분석하였다⁶⁻¹¹⁾.

[6]에서는 차량 네트워크에 시분할 기법을 적용하였을 때 발생하는 hidden terminal 문제를 해결하기 위해 각 차량은 다른 차량들이 사용하고 있는 슬롯에 대한 정보를 기록하고, 기록한 정보를 주변의 다른 차량들에게 공유한다. 이 공유된 슬롯 정보를 이용해 2-홉 거리에 있는 차량들의 슬롯 정보를 파악할 수 있게 하여 hidden terminal 문제를 해결하였다. 하지만 자율주행 자동차의 경우 차량마다 목적지가 달라 하나의 군집을 이루기 힘들고, 군집을 이루더라도 군집을 이루는 대상이 매순간마다 변화하기 때문에 슬롯을 점유하는 시분할 방식에서는 많은 오버헤드와 메시지 충돌이 발생하게 된다⁸⁾. 이러한 문제를 해결하기 위해 자율주행 자동차를 위한 연구에서는 시분할 방식에 대한 연구 이외에도 동적으로 군집을 형성하기 위한 알고리즘이 연구되고 있다⁹⁾. 하지만, 공통의 임무를 가지고 초기에 군집이 형성되어 출발하는 군집 드론의 경우 군집을 동적으로 형성하기 위한 과정보다는 군집이 이루어진 후에 통신에 대한 보장이 필요한 경우이기 때문에 자율주행 자동차를 위한 군집 단위 시분할 기법 알고리즘은 적합하지 않다.

무인 항공기의 경우 일반적으로 높은 성능을 위해 고비용으로 제작되어 드론에 비하여 하드웨어로 인한 제약을 받지 않고 다양한 서비스를 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 고비용인 여러 개의 지향성 안테나를 사용하거나¹⁰⁾, [11]과 같이 Multi-level 구조로 수집한 데이터를 상위 level에 있는 무인 항공기에게 원활하게 송신하여 상위 level에 있는 무인항공기가 안전하게 데이터를 수집할 수 있게 보장해주는 연구가 진행되고 있어 비행을 위한 드론 환경과는

거리가 있다.

이에 따라 본 논문에서는 자율주행 자동차의 안전 메시지를 위해 설계된 WAVE를 기반으로 시분할 기법을 제안하여 군집 드론 네트워크에서는 드론간의 충돌을 방지하기 위한 위치 정보 메시지 교환을 보장해주고자 하였다.

III. 제안 기법

3.1 V2X 통신 기술 표준

WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments)는 PHY와 MAC에 대해 정의한 IEEE 802.11p와 MAC과 그 상위 계층을 위한 IEEE 1609로 구성되어 있다. IEEE 802.11p는 기존의 Wi-Fi 관련 표준인 IEEE 802.11a를 개선한 표준으로서 고속의 이동성을 지원하기 위해 고안되었다.

IEEE 802.11p의 MAC에서는 고속으로 이동하는 차량 간에 메시지 지연을 줄이기 위해 CSMA/CA를 이용한 경쟁기반의 채널접근 기법을 사용하도록 정의하고 있다. 그리고 IEEE 1609.4에서는 그림 1과 같이 MAC 계층의 멀티 채널 운용에 관해 정의하고 있는데, 50ms를 주기로 CCH(Control Channel)과 SCH(Service Channel)이 번갈아가며 한 프레임의 구성하도록 정의하고 있다. CCH는 BSM이라는 차량간 안전 메시지를 전송하기 위해 사용되며, SCH에서는 자율주행 자동차를 위한 다양한 서비스를 위해 사용되도록 정의되어 있다^[12]. 하지만 50ms라는 한정된 CCH 구간에서 WAVE의 안전 메시지 사이즈와 전송 거리를 고려하였을 때 물리적으로 약 90대까지 밖에 지원할 수 없다. 또한 실제 환경에서 동시다발적으로 차량들이 통신을 시도할 경우 많은 메시지 충돌이 발생하게 된다^[13]. 이러한 문제점과 함께 드론은 지상이 아닌 공중을 비행한다는 점에서 차이가 있지만 WAVE가 고속으로 이동하는 대상을 지원하기 위한 통신 프로토콜이라는 점에서 충분히 군집 드론에게도 적용될 수 있다고 판단되어 본 논문에서는 시분할

선을 통하여 제안 기법과 성능을 비교 검증하였다.

3.2 제안 기법

제안 알고리즘은 공통의 임무 수행을 위해 비행하는 대규모 군집 드론의 상호 충돌 방지를 목표로 한다. V2X 통신 기술 표준에서 언급한대로 WAVE의 경우 CSMA/CA를 기반으로 하는 경쟁을 통한 채널 접근 구조를 이루고 있기 때문에 고밀도의 군집 드론 환경에는 적합하지 않다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 VANET(Vehicular Ad-hoc Network)환경에서 WAVE의 문제점 해결을 위해 [6]에서 제안한 알고리즘을 개선하여 대규모 군집 드론 네트워크에서 군집 내 통신을 보장하고자 한다. [6]에서 제안한 기법의 경우 동적으로 변하는 차량 네트워크를 지원하기 위해 슬롯 정보 공유기법을 포함하고 있다. 하지만 임무중심으로 움직이는 군집 드론 네트워크에서는 군집의 구성이 동적으로 변하지 않기 때문에 해당 부분은 군집 드론 환경에서 불필요한 오버헤드로 동작하게 된다. 이에 본 논문에서 제안하는 제안 기법에서는 불필요한 부분을 제거하여, 군집 드론 네트워크에 알맞게 개선하였다. 본 논문에서 제안하는 제안 기법은 CCH는 시분할 기법으로 구성되어 1개의 GI (Guard Interval)과 92개의 시간 슬롯(Sn)으로 구성되어 있다. 그리고 한 개의 시간 슬롯(Sn)은 CW1과 CW2로 구성된 back-off 구간이 있어 각 드론마다 랜덤하게 back-off 후 채널에 접근하도록 구성되어 있다.

그림 2는 본 논문에서 제안하고자 하는 기법의 프레임 구조를 나타내고 있다. 제안 기법에서는 CCH에 시분할 기법을 적용하여 드론의 데이터 전송을 보장해주고자 하였다. 제안 기법에서 각 드론은 하나의 시간 슬롯(Sn)을 랜덤하게 선택하여 안전 메시지 전송을 시도하게 된다. 그리고 선택한 시간 슬롯(Sn)에서 성공적으로 메시지 전송에 성공할 경우 해당 시간 슬롯을 점유했다고 판단하여 다음 프레임에서도 해당 시간 슬롯(Sn)에서 안전 메시지를 주기적으로 송신하게 된다. 각 시간 슬롯은 그림 2에서 볼 수 있듯이 CW1과 CW2로 구성된 back-off 시간을 가지고 전송을 시작하게 된다.

시간 슬롯(Sn)을 점유하지 못한 드론은 랜덤하게 슬롯을 선정한 후 CW2에 있는 미니 시간 슬롯(Msn)만큼 back-off 후 채널에 감지되는 캐리어가 없을 경우 채널에 접근하게 된다. CW2는 4개의 미니 시간 슬롯으로 구성되어 있으며, 새롭게 슬롯(Sn)에 접근을 하는 드론은 4개의 미니 시간 슬롯(Msn) 중 랜덤하게 하나를 선택하여 back-off 후 채널이 비어있을 경우

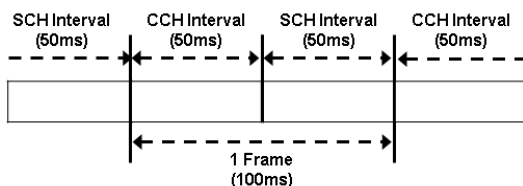


그림 1. WAVE 프레임 구조
Fig. 1. WAVE frame structure

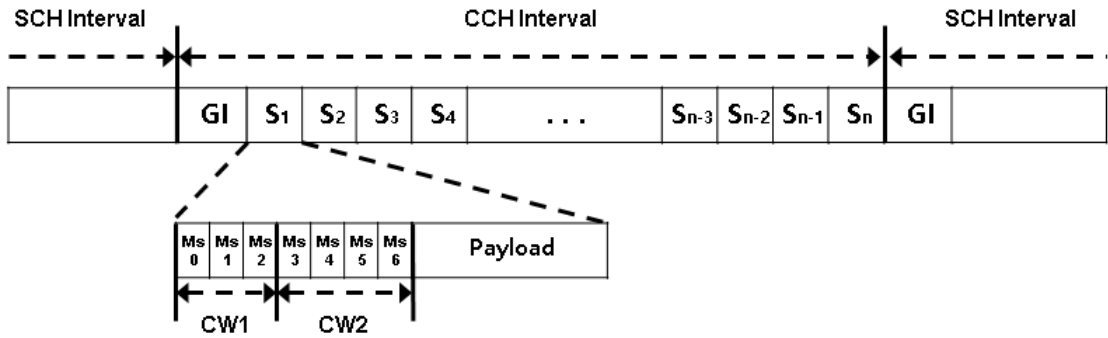


그림 2. 제안 기법의 프레임 구조
Fig. 2. Frame structure of proposed scheme

안전 메시지를 송신하게 된다. 각 드론이 랜덤하게 back-off 후 채널의 상태를 확인하고 접근하는 방식을 취하고 있기 때문에 동시에 여러 대의 드론이 접근하더라도 메시지 충돌을 방지할 수 있다.

CW1 구간에는 드론이 이전 프레임에 해당 슬롯(Sn)에서 성공적으로 메시지를 전송하여 해당 슬롯을 점유했다라고 판단할 경우 접근하게 된다. CW1은 3개의 미니 시간 슬롯(Msn)으로 구성되어 있으며, 이전 프레임에서 해당 시간 슬롯에서 안전 메시지를 전송했던 드론이 3개의 미니 시간 슬롯 중에서 랜덤하게 back-off 시간을 가진 후 안전 메시지를 전송하게 된다. 이전에 해당 슬롯(Sn)에서 이미 성공적으로 메시지를 전송하여 슬롯을 점유했다라고 판단했음에도 불구하고 3개의 미니 시간 슬롯(Msn)을 통해 접근하는 데는 두 가지 이유가 있다. 첫 번째는 서로 다른 드론이 CW2에서 미니 시간 슬롯까지 동일하게 선정하여 전송할 경우 충돌여부를 판단할 수 없기 때문이다. 그리고 두 번째는 현재 드론이 속한 군집 이외에 다른 군집 드론을 마주치는 경우를 대비해서이다. 통신 범위 밖에 있던 두 드론이 동일한 슬롯을 점유한 상태로 근접하게 되면 메시지 충돌이 발생하게 되고 드론의 메시지 전송을 보장할 수 없게 된다. 따라서 CW1에서도 경쟁을 통해 접근하는 방식을 이용하여 이전 프레임에서 충돌이 발생하였더라도 제안 기법의 구조에 따라 매 프레임마다 충돌 여부를 확인하고 충돌 발생 시 새로운 시간 슬롯을 선정하여 통신을 보장할 수 있게 된다.

IV. 성능 분석

본 장에서는 3장에서 제안한 알고리즘에 대한 성능 검증들을 하기 위해 두 가지 시나리오로 구분하여, 군집

드론 환경에서의 제안 알고리즘에 대한 우수성을 검증하였다.

4.1 메시지 충돌에 따른 통신 복구 성능 분석

하나의 군집으로서 동작하는 군집 드론 개체는 다른 군집을 만나기 전까지는 원활한 통신을 주고받을 수 있다. 하지만 다른 군집 드론 개체를 만나게 될 경우 무선 통신 환경에서 흔히 발생하는 hidden terminal 문제가 발생하게 된다. 그림 3은 서로 다른 군집 드론 개체인 cluster A와 cluster B가 서로의 통신 범위 밖에 있다가 이동하여 서로의 통신에 영향을 미치는 시나리오를 나타내고 있다. 본 논문에서는 제안 알고리즘의 우수성을 보여주기 위해 군집 단위로 PDR을 측정하여 평균값을 계산하였다.

표 1은 NS-3 상에 구현된 시나리오 1의 구체적인 실험환경을 나타낸다. 제안 알고리즘의 hidden terminal problem에 대한 네트워크 성능 회복의 우수성을 직관적으로 보여주기 위해 2개의 군집 드론 개체가 서로를 향해 접근하는 시나리오를 구성하였다. 구체적인 parameter들은 WAVE를 기준으로 설정하였다. 전체 드론의 수는 WAVE의 물리적인 최대 허용치인 90대로 설정하였으며, 통신 범위를 1000m로

표 1. 시나리오 1 실험 환경
Table 1. Test environments for scenario 1

Parameter	Value
Simulation Tools	NS-3
Number of Drones in a cluster	90
The number of Cluster	2
Speed (m/s)	10
Communication Range (m)	1000

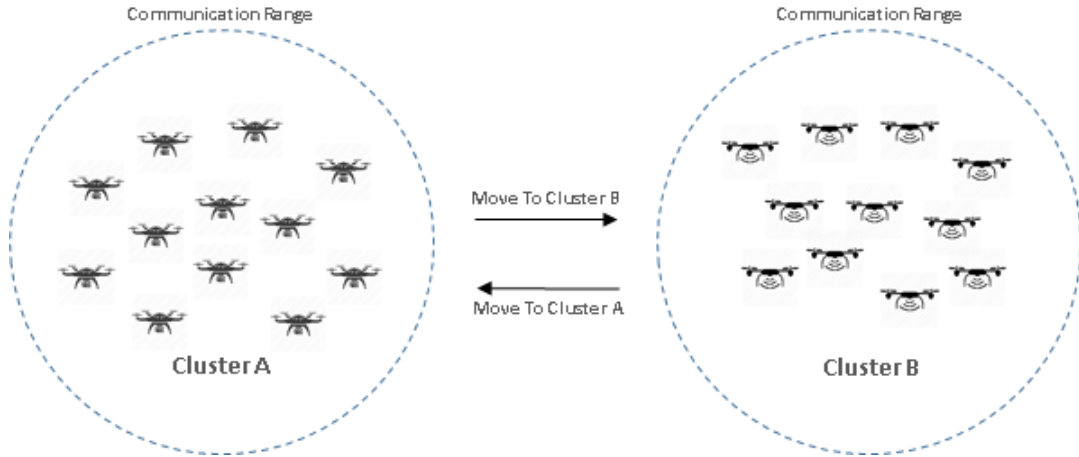


그림 3. 서로 다른 두 군집 드론이 접근하는 시나리오 1
 Fig. 3. The scenario of two different multi-drones are approaching each other

설정하였다. 해당 시나리오에서는 제안 알고리즘의 네트워크 회복 기능에 대한 우수성을 명확하게 보여주기 위하여 거리에 따른 loss 모델은 적용하지 않았으며, FixedRssLossModel을 사용하여 실험을 진행하였다.

그림 4는 시나리오 1에서 군집 단위의 평균 PDR 측정 결과를 보여주고 있다. 메시지 충돌이 발생하는 시각인 t 이전에 cluster A와 cluster B는 hidden terminal problem이 발생하지 않기 때문에 각 군집 내에서 주고받는 메시지의 PDR이 약 100%임을 확인할 수 있다. 하지만 cluster A와 cluster B가 서로의 통신 범위에 들어오게 되자 hidden terminal problem이 발생하여, 제안 알고리즘과 WAVE 모두 PDR이 감소하는 것을 확인할 수 있다. WAVE의 경우 hidden terminal problem이 발생하게 되면 별도의 네트워크 복구를 위한 알고리즘이 없기 때문에 통신 범위 내에 다른 군집 드론 개체가 등장하게 될 경우 그림 4에서 나타나듯 지속적으로 통신에 영향을 받아 PDR이 감

소하게 된다. 하지만 제안 알고리즘의 경우 초반에는 메시지 충돌로 인해 PDR이 감소하지만 약 400ms 이내에 다시 다른 군집 드론 개체를 만나기 이전의 PDR로 네트워크를 회복하게 된다. 이는 3장에서 설명한대로 제안 알고리즘이 슬롯 할당 이후에도 경쟁을 통해 슬롯 재사용하는 경쟁구조를 지니고 있기 때문에 일정 시간이 지나면 네트워크가 회복하게 된다.

4.2 통신 범위 내 드론의 밀도 증가에 따른 성능 분석

시나리오 1은 hidden terminal problem에 대한 제안 알고리즘의 우수성을 보여주기 위한 시나리오였다면, 시나리오 2는 드론의 수가 증가하였을 때 군집 드론 개체를 이루는 내부드론 간 통신에 대한 성능을 보여주고자 설계된 시나리오 이다.

표 2는 NS-3 상에 구현된 시나리오 2의 구체적인

표 2. 시나리오 2 실험 환경
 Table 2. Test environments for scenario 2

Parameter	Value
Simulation Tools	NS-3
The number of Drones	40-360
The number of Cluster	4
Speed (km/h)	30-200
Mobility Model	Gaussian Markov Mobility Model
Loss Model	Log Distance Propagation Loss Model
Communication Range (m)	1000

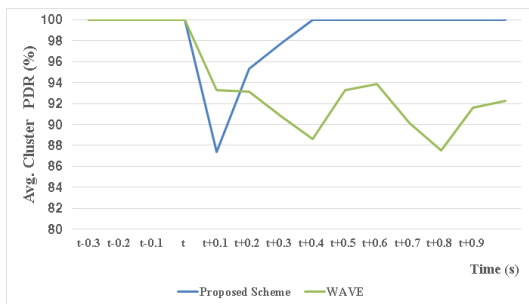


그림 4. 시나리오 1에 대한 군집 드론 개체의 평균 PDR 측정
 Fig. 4. Avg. cluster PDR for scenario 1

실험환경을 나타낸다. 시나리오 2는 4개의 군집 드론으로 구성되어 있으며, 각 군집은 동일한 수의 드론으로 구성되도록 설계하였다. 즉, 그림 5에서 가로축에 나타내고 있는 드론의 수는 시나리오 상에 존재하는 총 드론의 수를 의미한다. 예를 들어 시나리오 상에 360개의 드론이 있는 경우에는 90개의 드론으로 이루어진 4개의 군집이 존재함을 의미한다. 각 군집마다 존재하는 군집 헤더 드론들은 Gaussian markov mobility model을 따라 움직이며, 군집 헤더 드론을 다른 드론들이 따라다니면서 군집 드론 개체를 이루도록 설계되었다. 시나리오 상 전체 드론의 수는 4개의 군집이 존재할 때 WAVE의 물리적인 최대 허용치인 360대로 설정하였으며, 통신 범위를 1000m로 설정하였다. 해당 시나리오에서는 Log Distance PropagationLossModel을 적용하여 실험을 진행하였다.

그림 5는 시나리오 2 환경에서 실험을 진행하였을 때 cluster 4개의 평균 PDR을 나타낸다. 3장에서 설명하였듯이 WAVE는 통신범위 내 최대 90대까지 지원할 수 있다. 그렇기 때문에 통신 범위 내에 90대 이상의 드론이 존재할 경우 PDR이 급격하게 감소하게 된다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 드론의 수가 증가할수록 WAVE의 PDR이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 제안 알고리즘의 경우 드론의 수가 증가함에도 불구하고 약 100%의 PDR을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 제안 알고리즘의 경우 같은 클러스터에 존재하는 드론들은 각자 점유하고 있는 시간 슬롯이 다르다. 그렇기 때문에 같은 클러스터에 있는 다른 드론과 메시지 충돌이 발생할 가능성이 낮아 높은 PDR을 유지할 수 있다. 또한 다른 군집과 만나더라도 CW1구간을 통해 경쟁 기반으로 채널에 접근하기 때문에 메시지 충돌을 줄일 수 있다.

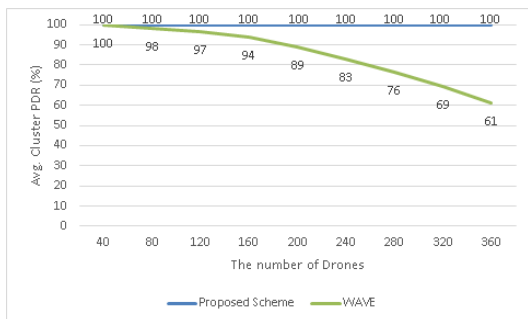


그림 5. 시나리오 2에 대한 군집 드론 개체의 평균 PDR 측정
Fig. 5. Avg. cluster PDR for scenario 2

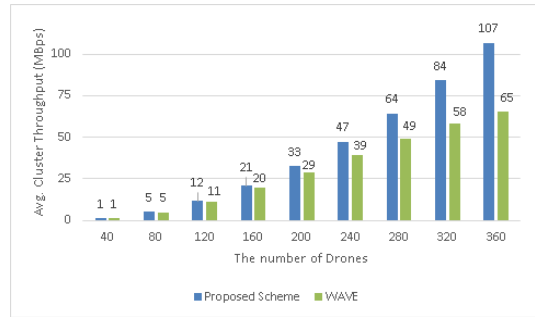


그림 6. 시나리오 2에 대한 군집 드론 개체의 평균 Throughput
Fig. 6. Avg. Cluster Throughput for scenario 2

그림 6은 시나리오 2 환경에서 드론의 수를 40대에서 360대로 증가시키면서 실험을 진행하였을 때 cluster 4개의 평균 throughput을 보여주고 있다. 드론의 수가 적을 때는 WAVE와 제안 알고리즘이 비슷한 throughput을 나타내는 것을 볼 수 있다. 하지만 드론의 수가 증가할수록 WAVE와 제안 알고리즘의 throughput 격차가 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 WAVE가 CSMA/CA 기반으로 동작하기 때문에 다른 군집의 드론이 데이터를 전송하는 신호를 감지할 경우 데이터 전송을 포기해버리기 때문이다. 하지만 제안 알고리즘의 경우 같은 군집 내의 드론간의 통신이 더 중요하기 때문에 슬롯을 선정하여 데이터를 전송한다. 그렇기 때문에 드론의 수가 증가할수록 throughput이 감소하는 WAVE와는 달리 제안 알고리즘은 안정적으로 throughput이 증가하게 된다.

V. 결론

군집 드론을 이용한 다양한 서비스에 대한 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 군집 드론의 정보 교환을 위한 통신 표준이 정의되지 않고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 군집 드론의 안정적인 통신을 보장하기 위한 경쟁기반의 시분할 기법을 제안하였다. Ns-3를 이용한 시뮬레이션을 통해 메시지 충돌시 네트워크가 빠르게 회복되는 것을 보여주었으며, 군집 드론의 성능과 직결되는 드론의 수가 증가함에도 안정적인 패킷 수신율과 높은 처리율을 보여주는 것을 확인하였다.

본 논문에서는 같은 군집에 속하는 드론간의 정보 공유를 보장해주기 위한 프레임 구조를 제안하였다. 이를 통해 같은 군집에 속하는 드론간에는 원활하게 정보를 공유할 수 있음을 증명하였지만 다른 군집과

의 정보공유는 보장하지 못하고 있다. 이에 따라 추후 연구에서는 군집간 정보 공유를 위해 군집 헤더 드론 간의 정보 공유를 위한 연구가 진행될 예정이다.

References

[1] S.-I. Oh, "A case study civilian drone," in *Proc. Korean Soc. Broadcast Eng. Conf.*, 2015.

[2] G. Bevacqua, et al., "Mixed-initiative planning and execution for multiple drones in search and rescue missions," *ICAPS*, pp. 315-323, 2015.

[3] C.-J. Chen, et al., "Intelligent environmental sensing with an unmanned aerial system in a wireless sensor network," *Int. J. Smart Sensing & Intell. Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 696-717, Sept. 2017.

[4] F. Leslie and P. John, "Air mines: Countering the drone threat to aircraft," *Air & Space Power J.*, Apr. 2017.

[5] D. Jiang and L. Delgrossi, "IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments." *VTC Spring*, pp. 2036-2040, 2008.

[6] Y.-H. Yoon, et al., "A carrier sensing and slot-state sharing TDMA for vehicular Ad Hoc networks," *J. KICS*, vol. 42, no. 06, 2017.

[7] M. Almalag, et al., "TDMA cluster-based MAC for VANETs (TC-MAC)," *IEEE WoWMoM*, pp. 1-6, Jun. 2012.

[8] Y. Günter, et. al., "Cluster-based medium access scheme for VANETs," *IEEE ITSC*, pp. 343-348, 2007.

[9] F. Borgonovo, et al., "ADHOC MAC: New MAC architecture for ad hoc networks providing efficient and reliable point-to-point and broadcast services," *Wireless Networks*, vol. 10, no. 4, pp. 359-366, Jul. 2004.

[10] S. Say, et al., "A hybrid collision coordination-based multiple access scheme for super dense aerial sensor networks," *IEEE WCNC*, pp. 1-6, 2016.

[11] D. L. Gu, et al., "C-ICAMA, a centralized intelligent channel assigned multiple access for

multi-layer ad-hoc wireless networks with UAVs," *IEEE WCNC*, vol. 2, pp. 879-884, Sept. 2000.

[12] SAE, *Dedicated Short Range Message set (DSRC) Dictionary*, SAE International, 2009.

[13] Q. Chen, D. Jiang, and L. Delgrossi, "IEEE 1609.4 DSRC multi-channel operations and its implications on vehicle safety communications," *IEEE VNC*, pp. 1-8, Oct. 2009.

이 응 규 (Eungkyu Lee)



2016년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학 학사
 2016년 2월~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학 석사과정
 <관심분야> 차량통신시스템, 소프트웨어 정의 네트워킹

고 영 배 (Young-Bae Ko)



1991년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학 학사
 1995년 2월 : 아주대학교 경영정보학(MIS) 석사
 2000년 7월 : 미국 Texas A&M University (College Station) 컴퓨터공학 박사
 2000년 8월~2002년 8월 : 미국 IBM T.J Watson 연구소 전임연구원
 2002년 9월~2011년 : 아주대학교 정보통신대학 정보컴퓨터공학부 조/부교수
 2012년~현재 : 아주대학교 정보통신대학 소프트웨어학과 정교수
 <관심분야> 이동 애드혹 네트워크, Connected Cars, 무인 이동체 네트워킹(Drone Networking), 사물인터넷(IoT)