

무선 SDN 기반 군집무인시스템의 채널할당 최적화 Channel Allocation Optimization in Swarm Unmanned Systems with Wireless SDN

이상홍* · 박형석* · 박경준*
SangHeung Lee* · Hyung-Seok Park* · Kyung-Joon Park*

* 대구경북과학기술원
(sheung.lee@dgist.ac.kr)

ABSTRACT

For management of complex networks with dynamic nodes such as Unmanned Ground Vehicle (UGV) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Software-Defined Networking (SDN) is a promising approach. However, SDN requires state information for each node to provide real-time dynamic routing. These traffics may cause significant traffic loads. Therefore, in this paper, we distinguish between data planes and control plane channels for traffic distribution in wireless SDN. Because each node in data plane performs channel switching to receive data packets and control packets, it is not possible to receive both types of packets at the same time. Therefore, we propose channel allocation scheduling to minimize the data loss rate.

Key Words: Software-Defined Networking, Swarm Unmanned Systems, Multi-Channel Optimization

1. 서론

전장이나 재난 현장과 같은 위험 지역에서 긴급 경찰 임무 등과 같은 특정 임무 수행 시 군집 무인 시스템을 활용하는 것은 매우 효과적이며 세계적으로도 많은 관심을 모으고 있다 [1]. 다수의 Unmanned Ground Vehicle (UGV) 또는 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)와 같은 무인기는 임무 수행을 위해 실시간 위치정보, 영상정보, 제어정보 등 다양한 데이터를 Ground Control Station (GCS)와 교환한다. 원활한 임무 수행을 위해 무인기 간 그리고 무인기와 GCS 간의 신뢰성 있는 데이터 전송이 필요하다. 군집 무인 시스템은 임무에 따라 동적으로 토폴로지가 변하는 특징이 있다. 따라서 동적 토폴로지에서 임무수행에 필요한 데이터를 유연하게 교환할 수 있는 네트워크 설계가 필요하다.

여러 대의 UGV 또는 UAV로 구성된 동적 네트워크의 유연한 관리를 위해 최근 Software-Defined Networking (SDN)을 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [2]. SDN은 네트워크를 컨트롤 플레인과 데이터 플레인으로 나누어 관리하여 SDN-컨트롤러에서 중앙집중형으로 소프트웨어를 통해 SDN-스위치들의 라우팅을 제어한다 [3]. SDN은 동적 토폴로지를 갖는 네트워크에서 유용하게 사용된다. 그러나 SDN-스위치로 작동하는 UGV 또는 UAV와 같은 노드들은 임무 수행에 필요한 데이터 패킷과 더불어 SDN-컨트롤러가 라우팅 정보를 생성하기 위해 각 노드와 주고받는 컨트롤 패킷을 추가적으로 교환해야 하는 단점이 존재한다. 이러한 트래픽 증가는 패킷 손실이 증가하는 원인으로 작용하여 원활한 임무 수행을 방해하는 요소가 된다.

본 연구에서는 무선 SDN을 적용한 군집 무인 시스템

에서 컨트롤 패킷과 데이터 패킷 손실을 최소화하는 매체 접근 제어 방법을 제안한다. 제안하는 매체 접근 제어 방법은 데이터 플레인과 컨트롤 플레인에 각각 다른 채널을 할당하고, 패킷 손실을 최소화하도록 채널 할당 스케줄링을 최적화한다.

2. 멀티채널을 적용한 무선 SDN에서 채널 할당 스케줄링 최적화

2.1 채널 할당 스케줄링 방법

다수의 트래픽이 발생하는 상황에서 서로 다른 채널을 사용하는 경우, 상호 간섭 범위에 있는 노드들은 간섭이 줄어들어 패킷 손실률이 감소한다 [4]. 본 연구에서는 무선 SDN을 적용한 군집 무인 시스템에서 패킷 손실률을 최소화하기 위해 컨트롤 플레인 채널과 데이터 플레인 채널을 구분한다. 즉, 각 노드는 데이터 패킷과 컨트롤 패킷을 수신하기 위해 채널을 스위칭 한다. 본 논문에서는 하나의 노드에 한 개의 Network Interface Controller (NIC)가 장착된 상황을 가정한다. NIC가 한 개인 경우 데이터 패킷과 컨트롤 패킷을 동시에 수신하는 것은 물리적으로 불가능하며, 이때 패킷 손실이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 패킷 손실률을 최소화하는 최적의 노드의 채널 할당 스케줄링 기법을 제안한다.

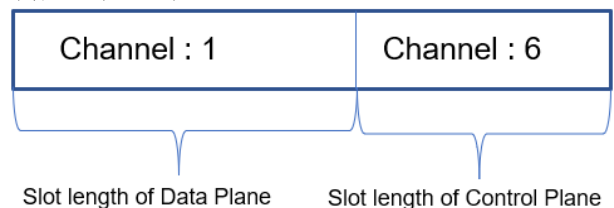


Fig. 1: 채널 할당 프레임.

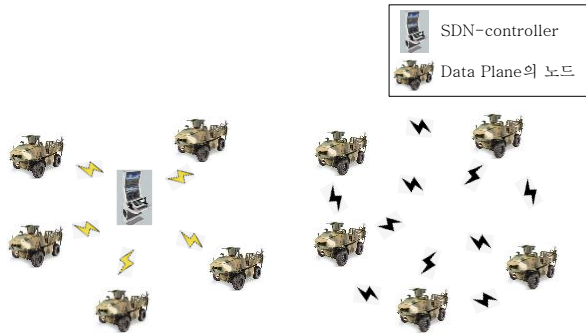


Fig. 2: 무선 SDN 군집 무인 네트워크 토폴로지.

Fig. 1은 채널 할당 프레임의 구조를 보여준다. 한 프레임에서 컨트롤 플레인의 채널 할당 슬롯의 비율이 높은 경우 임무 수행에 필요한 데이터 패킷을 수신할 시간이 감소되기 때문에 데이터 패킷 손실이 증가한다. 반면, 컨트롤 플레인의 채널 할당 슬롯의 비율이 낮은 경우 컨트롤 패킷 손실이 증가한다. 이는 컨트롤 패킷의 손실로 인해, 라우팅이 제대로 되지 못하여 데이터 패킷 손실로 이어질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 데이터 패킷 및 컨트롤 패킷 손실 문제를 해결하기 위해 Brute Force search 방법과 Online-search 방법으로 전체 패킷 손실률을 최소화하는 최적의 채널 할당 스케줄링을 찾는다.

2.2 시뮬레이션을 통한 성능 검증

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 Python을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 2는 시뮬레이션에서 이용된 토폴로지이다. 왼쪽 그림은 컨트롤 플레인의 네트워크 토폴로지이며, 오른쪽 그림은 데이터 플레인의 네트워크 토폴로지이다. 패킷 발생률은 Poisson 분포를 따르며, 컨트롤 패킷과 데이터 패킷의 발생률 λ 는 각각 9와 3이다.

Brute Force search는 솔루션에 대한 모든 가능한 후보를 검색하는 방법이다. 이 방법은 한 프레임에서 컨트롤 플레인과 데이터 플레인의 최적 채널 할당 비율이 있다는 것을 확인하기 위한 과정이다. Brute Force search 방법에서 채널 할당 비율 조절 방식은 채널 할당 전체 프레임 길이를 1/10으로 나누어 컨트롤 플레인 할당 비율을 조절하였다. 그 결과, 최적의 할당 비율은 컨트롤 플레인과 데이터 플레인이 각각 50% 일 때 패킷 손실률이 최소임을 확인하였다. 그러나 대부분의 경우 가능한 모든 후보를 적용하여 확인하는 Brute Force search를 이용하여 최적의 할당 비율을 찾는 것은 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 Online-search 방법을 통해 최적의 할당 비율을 찾는다.

Online-search 방법의 경우, 컨트롤 플레인 채널 할당 비율의 초기 값을 채널 할당 전체 프레임 길이의 30%로 설정하고 step size를 1/10으로 설정하였다. 시뮬레이션 100번 수행한 결과는 Fig. 3과 같다. Brute Force search를 통해 얻은 결과와 마찬가지로 채널 할당 비율이 50%인 경우가 가장 높은 빈도를 보였다.

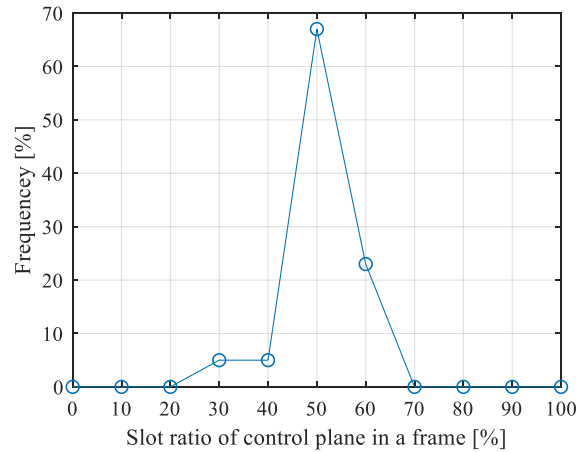


Fig. 3: 컨트롤 플레인 채널 할당 슬롯의 비율에 따른 빈도수.

3. 결론

본 연구에서는 무선 SDN을 활용한 군집 무인 시스템에서 패킷 손실을 최소화하기 위해 데이터 플레인과 컨트롤 플레인의 채널을 분리하고, 최적의 채널 할당 스케줄링을 제안하였다. 추후, 이론적 상세한 분석을 통해 SDN-컨트롤러와 노드간 거리를 2홉 이상으로 확장하여 연구할 계획이다.

Acknowledgment

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 군집형 무인 CPS 특화연구실 사업의 일환으로 수행되었습니다.(UD190029ED)

References

[1] A. Girma et al., "IoT-enabled autonomous system collaboration for disaster-area management," in IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol. 7, no. 5, pp. 1249-1262, September 2020.

[2] Q. Zhao, P. Du, M. Gerla, A. J. Brown and J. H. Kim, "Software Defined Multi-Path TCP Solution for Mobile Wireless Tactical Networks," MILCOM 2018 - 2018 IEEE Military Communications Conference (MILCOM), pp. 1-9, 2018.

[3] Sanjeev Singh and Rakesh Kumar Jha, "A Survey on Software Defined Networking: Architecture for Next Generation Network," Journal of Network and Systems Management, vol.25, pp. 321-374, 2017.

[4] Jennifer C. Hou, Kyung-Joon Park, Tae-Suk Kim, and Lu-Chuan Kung, "Medium access control and routing protocols for wireless mesh networks," Wireless Mesh Networks. Springer, Boston, MA, pp. 77-111, 2008.