

# 미션 크리티컬 네트워크를 위한 효과적인 SDN 토폴로지 탐색 기법 Efficient SDN Topology Discovery for Mission-critical Networks

이승현 · 박형석 · 박경준  
Seunghyun Lee · Hyung-Seok Park · Kyung-Joon Park

DGIST  
(shlee0929@dgist.ac.kr)

## ABSTRACT

Mission-critical networks provide a resilient, secure, reliable, and scalable infrastructure in emergent situations such as battlefields and disaster scenes. Software-defined networking (SDN) is a method that can increase the flexibility of networks operation and can respond in real-time when a problem occurs in mission-critical networks. However, SDN controllers incur network overheads, which may delay the end-to-end transmission of mission-critical packets. Therefore, we need to reduce protocol overheads of SDN to improve the performance of mission-critical networks. In this paper, we propose a light-weighted monitoring protocol of SDN-based networks. Our experimental results show that the proposed scheme can significantly reduce the SDN management overhead.

Key Words : Mission-critical networks, software-defined networking (SDN), networks topology discovery

## 1. 서론

미션 크리티컬 네트워크는 전쟁 또는 재난과 같은 위급한 상황에서 복원력이 뛰어나고 안전하고 안정적이며 확장 가능한 인프라를 제공한다 [1]. 미션 크리티컬 네트워크는 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 또는 UGV (Unmanned Ground Vehicle)와 같은 실시간 이동성을 갖는 무인기로 이루어져 있어 네트워크 토폴로지가 동적으로 변하는 특징이 있다. 동적 네트워크 토폴로지는 SDN (Software-Defined Networking)을 통해 효율적으로 관리할 수 있다.

SDN은 네트워크의 기능을 하드웨어 종속적이 아닌 소프트웨어로 동작하게 하는 접근법이다 [2]. SDN은 네트워크 장비의 교체 없이 네트워크 기능 추가 및 제거가 가능하고, 네트워크를 중앙화하여 리소스를 제어 및 관리하는 추상화를 제공한다. 이러한 네트워크 가상화는 복잡한 구조의 네트워크를 레거시 네트워크의 경우보다 쉽게 관리할 수 있도록 한다. 이로 인해 SDN은 미션 크리티컬 네트워크에서 문제 상황 발생 시 실시간 대응에 유리하다.

SDN에서 이러한 추상화를 제공하기 위해 SDN-컨트롤러(이하 컨트롤러)는 주기적으로 네트워크 상태를 모니터링 하며 오버헤드를 발생시키고 이는 미션 크리티컬 네트워크의 실시간 반응을 지연시킬 수 있다. SDN 기반 네트워크에는 미션 수행을 위한 데이터 패킷과 네트워크 관리를 위한 컨트롤 패킷이 있다 [3]. 컨트롤 패킷은 네트워크 상태 모니터링, ARP, 라우팅 등 네트워크 관리 및 운용을 위한 SDN의 핵심 요소이지만 데이터 패킷과 링크를 공유하기 때문에 데이터 패킷 처리량을 저하시킨다. 미션 크리티컬 네트워크의 미션 수행

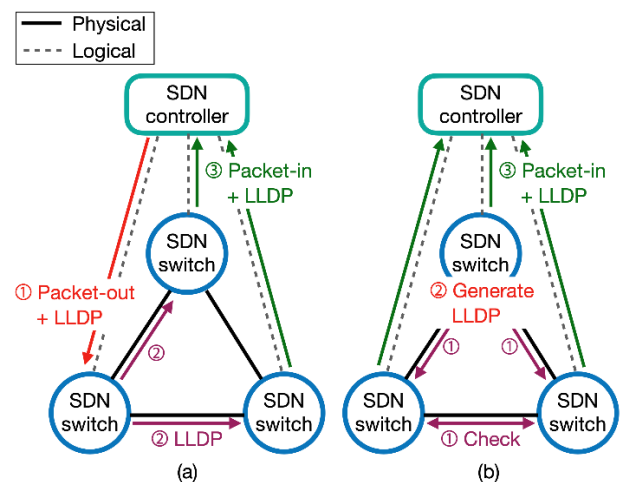


Fig. 1. SDN 토폴로지 탐색 기법. (a) 기존 방법, (b) 제안하는 방법

성능 향상을 위해서 SDN의 네트워크 모니터링 프로토콜의 오버헤드를 최소화할 필요가 있다.

본 논문에서는 컨트롤 패킷의 사용을 최소화하며 네트워크의 링크 상태를 모니터링하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법을 통해 데이터 패킷 처리량을 향상시킴으로써 미션 크리티컬 네트워크의 미션 수행 성능을 개선한다. 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제시한 방법의 성능을 보인 후 결과를 분석한다.

## 2. 제안하는 SDN 토폴로지 탐색 기법

기존의 SDN 기반 네트워크 모니터링 방법은 그림 1a와 같이 컨트롤러와 SDN-스위치(이하 스위치)의 정보 교환에 사용하는 Packet-in/out 메시지와 링크 상태

를 측정하는 LLDP 패킷을 사용한다. 먼저 컨트롤러는 일정 주기마다 각 스위치에게 Packet-out 메시지를 통해 LLDP 패킷을 전송한다. Packet-out 메시지를 수신한 스위치는 자신과 인접한 스위치에 LLDP 패킷을 멀티캐스트한다. LLDP 패킷을 수신한 인접 스위치는 Packet-in 메시지에 LLDP 패킷을 담아 컨트롤러로 전송한다. 컨트롤러는 Packet-in 메시지를 수신함으로써 링크 상태를 최신화한다 [4].

그림 1b는 본 논문에서 제안하는 모니터링 과정을 나타낸다. 이는 기존의 모니터링 방법에서 컨트롤러가 전송한 Packet-out 메시지와 스위치 간의 LLDP 패킷 전송 없이 동작하도록 개선한 방법이다. 먼저 각 스위치는 수신한 데이터 패킷 또는 데이터 패킷의 교환을 통해 자신과 연결된 모든 링크의 상태를 파악한다. 파악한 링크 정보를 바탕으로 LLDP 패킷을 생성한 후 일정 주기마다 컨트롤러로 Packet-in 메시지를 전송한다. 이 과정을 통해 컨트롤러는 기존과 동일하게 링크 상태를 최신화할 수 있다.

### 3. 실험 결과

본 논문에서 제안한 방법의 성능을 시뮬레이션으로 확인할 수 있다. 전송하는 데이터 패킷의 크기는 50 KB, 링크의 처리량은 10 MBps, 네트워크 모니터링 주기는 10 ms인 시뮬레이션 환경에서 기존의 네트워크 모니터링 방법과 제안하는 방법 각각에 대해 스위치 수를 증가시키며 선형 토폴로지와 균형 이진 트리 토폴로지에서의 데이터 패킷 전송의 지연과 지터를 측정하였다.

그림 2는 시뮬레이션 결과를 보여준다. 기존의 네트워크 모니터링 방법에서는 스위치 수가 증가함에 따라 지연과 지터 모두 지수적으로 증가하는 경향을 보인다. 그러나 제안하는 방법은 기존의 방법에 비해 5.18배 높게 지연 향상을 막는다. 또한 스위치 수가 증가해도 지터를 일정하게 유지함을 확인할 수 있다. 이 결과는 Packet-out 메시지와 LLDP 패킷이 각각 사용하는 링크의 수를 계산함으로써 분석할 수 있다. 기존의 방법에서 컨트롤러는 모든 스위치에 Packet-out 메시지를 전송한다. 모든 스위치는 LLDP 패킷을 자신과 이웃한 스위치에게 한 번씩 전송한다. 즉, Packet-out 메시지와 LLDP 패킷을 사용하지 않을 경우  $2l + \sum_{s \in S} h_s$  만큼 링크 사용을 줄일 수 있다. 이때  $l$ 은 스위치 사이의 모든 링크 수,  $S$ 는 스위치,  $h_s$ 는 스위치  $s$ 로부터 컨트롤러까지 최단 홉 수를 의미한다. 감소한 링크 수는 스위치의 수를  $n$ 이라 할 때 선형 토폴로지, 균형 이진 트리 토폴로지에서도 각각  $O(n^2)$ ,  $O(n \log n)$ 의 복잡도를 보인다. 이는 본 논문에서 제안하는 방법이 네트워크 모니터링에 사용하는 링크 수를 선형 이상 복잡도만큼 낮춤으로써 데이터 패킷 전송 지연과 지터를 유의미하게 감소시켜 데이터 전송 속도를 향상시킴을 보인다.

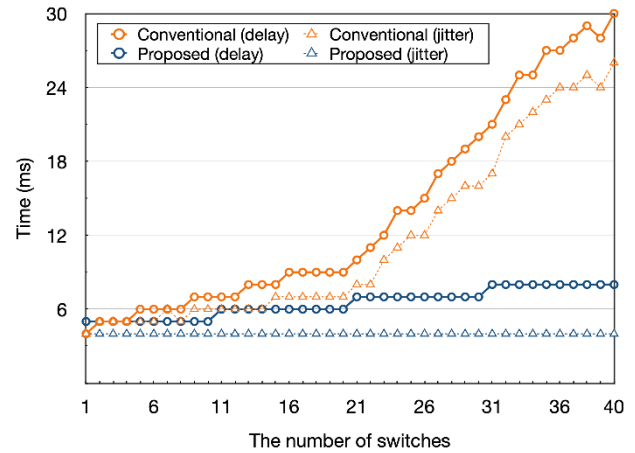


Fig. 2. 기존 모니터링 방법과 제안하는 방법의 데이터 패킷 전송 지연 및 지터 변화

### 4. 결론

본 논문에서는 SDN 네트워크를 모니터링하는 새로운 방법을 제안하였다. 컨트롤러가 네트워크 토폴로지 파악을 위해 사용하는 컨트롤 패킷이 네트워크의 데이터 전송 속도에 끼치는 영향을 분석하였고, 시뮬레이션을 통해 새로 제안하는 방법이 기존의 방법보다 데이터 전송 속도를 향상시킴을 확인하였다. 본 논문에서는 전송 지연만 측정했으나, 향후에 스위치의 하드웨어 특성을 고려한 실제 테스트베드에서의 성능 향상을 확인할 계획이다.

### Acknowledgment

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 군집형 무인 CPS 특화연구실 사업의 일환으로 수행되었습니다.(911257202)

### 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] Kreutz, Diego, et al. "Software-defined networking: A comprehensive survey." Proceedings of the IEEE 103.1, 14-76, 2014.
- [3] Alsaeedi, Mohammed, Mohd Murtadha Mohamad, and Anas A. Al-Roubaiey. "Toward adaptive and scalable OpenFlow-SDN flow control: A survey." IEEE Access 7, 107346-107379, 2019.
- [4] Ochoa-Aday, Leonardo, Cristina Cervelló-Pastor, and Adriana Fernández-Fernández. "ETDP: Enhanced topology discovery protocol for software-defined networks." IEEE Access 7, 23471-23487, 2019.