SDN 기반 무선 멀티 홉 네트워크에서 룰 캐싱을 이용한 빠른 복구

김장한, 박형석, 박경준*
대구경북과학기술원

{jhjy96, hyungseok, kjp}@dgist.ac.kr

Fast Recovery using Rule Caching in SDN based Wireless Multi-hop Networks

Janghan Kim, Hyung-Seok Park, Kyung-Joon Park*
DGIST

요 약

최근 전시 상황이나 재난 현장에서 사람이 수행하기 어려운 임무를 위해 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)와 Unmanned Ground Vehicle (UGV)가 적극 활용되고 있다. UAV 와 UGV 로 구성된 군집 무인 시스템은 임무에 따라 무인기가 추가/탈락하는 경우가 빈번히 일어나고, 임무에 따라 다양하게 배치되면서 동적 토폴로지를 형성한다. 따라서 기존 애드혹 라우팅으로 군집 무인 시스템의 임무 수행 데이터 전달 경로 구축하기보다 Software-defined Networking (SDN)을 활용하여 SDN 컨트롤러를 통한 임무 수행 데이터 전달 경로 구축하는 것이 적합하다. 그러나 SDN 에 기반한 군집 무인 시스템에서 UAV 와 UGV 가 추가되는 경우, 임무 수행 데이터 경로를 구축하는데 종단간 포워딩 룰을 수신하기까지 비교적 많은 시간이 소요된다. 본 논문에서는 무선 SDN 기반 군집 무인 시스템에서 복구를 위해 추가 투입된 무인기의 신속한 임무 수행데이터 경로 구축을 위해 룰 캐싱을 이용한 복구 기법을 제안한다.

Ⅰ. 서 론

최근 전시 상황이나 재난 현장의 정찰 임무 같은 사람이 수행하기 어려운 지역에서 안전하고 효율적으로 임무를 수행하기 위해 군집 무인 시스템을 활용하는 연구가 활발하다 [1]. 군집 무인 시스템은 하나의 Ground Control Station (GCS)와 다수의 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)과 Unmanned Ground Vehicle (UGV)로 구성된다. GCS 는 임무 수행을 위해 UAV 와 UGV 를 다양한 형태로 배치시킬 수 있으며, UAV 와 UGV 는 다양한 센싱 정보를 GCS 로 전달할 수 있다.

기존 군집 무인 시스템을 구성하는 무선 네트워크는 무인기간 정보 전달을 위해 AODV, B.A.T.M.A.N., OLSR 과 같은 애드혹 라우팅 기법을 사용하였다. 그러나 군집 무인 시스템은 임무에 따라 토폴로지가 동적으로 변하는 특징이 존재하기 때문에 기존 애드혹 라우팅을 사용하는 경우 새로운 토폴로지에 대응하는 라우팅을 생성하고 전달하는데 비교적 많은 자원이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 실시간 네트워크 모니터링과 동적 토폴로지 대응에 특화된 Software-Defined Networking (SDN)을 이용하여 군집 무인 시스템의 네트워크를 구성한다.

SDN 은 중앙 제어 구조로 중앙 제어 장치인 컨트롤러가 네트워크 상 존재하는 다수의 스위치를 관리한다. SDN 은 컨트롤러가 주기적으로 Link Layer Discovery Protocol (LLDP) 패킷을 모든 스위치에게 전달하여 실시간으로 토폴로지를 상태를 모니터링한다[2]. 컨트롤러는 현재 토폴로지 상태에 맞는 포워딩 룰을 계산하여 스위치들에게 즉각 전달하는 특징이 있으며, 이를 통해 동적 토폴로지는 같은 군집 무인 시스템을 효과적으로 관리할 수 있다.

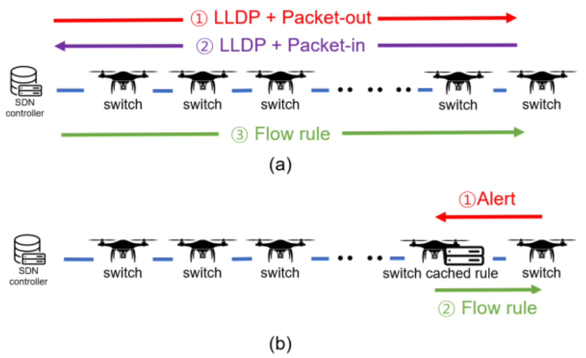

그림 1. SDN 포워딩 룰 적용 기법. (a) SDN 컨트롤러로부터 포워딩 룰 수신, (b) 룰 캐싱을 이용한 포워딩 룰 수신.

재난 및 전시 상황에 사용되는 군집 무인 시스템은 험난한 외부 환경 요인 및 임무 수행에 따라 무인기 추가/탈락이 빈번하다[3]. SDN 기반 네트워크를 사용하는 군집 무인 시스템에서 무인기가 추가되는 경우, 해당 무인기가 SDN 컨트롤러로부터 포워딩 룰을 수신하고 그에 따라 임무 수행 데이터를 교환하는 데까지 많은 시간이 소요된다. 특히, 무인기 탈락에 대한 복구 수행을 위해 무인기가 추가 투입되는 경우 신속한 복구를 위해 새로운 무인기가 포워딩 룰을 빠르게 수신하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 무선 SDN 기반 군집 무인 시스템에서 복구를 위해 추가 투입된 무인기의 임무 수행 데이터 전달 경로를 신속히 구축하기 위해 룰 캐싱 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 룰 캐싱 없이 SDN 의 reactive forwarding 알고리즘을 사용한 방법 대비, 투입된 무인기가 최대 76% 빠르게 데이터 전달 경로를 구축한다.

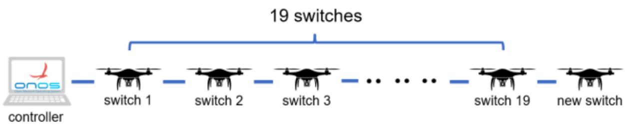

그림 2. 시뮬레이션을 위한 SDN 기반 군집 무인 시스템 구성도

Ⅱ. 본론

기존 SDN 에서 컨트롤러와 새로운 스위치까지 멀티홉으로 이루어진 토폴로지에 대해 새로운 포워딩 룰을 적용시키는 과정은 그림 1(a)와 같다. 컨트롤러는 새로운 스위치 존재를 인식하기 위해 주기적으로 LLDP 요청 패킷을 각 스위치들에게 전달한다. LLDP 요청 패킷을 수신한 스위치들은 링크 상태를 측정하여 컨트롤러로 LLDP 응답 패킷을 송신한다. 모든 링크 상태를 인식한 컨트롤러는 포워딩 룰을 계산하여 새로운 스위치에 전달한다.

반면, 본 논문에서 제안하는 방법은 그림 1(b)와 같이 LLDP 패킷 교환 없이 새로운 스위치가 인접한 스위치에게 자신의 존재를 인식시킨다. 새로운 스위치를 인식한 기존 스위치는 컨트롤러로부터 미리 캐싱된 포워딩 룰을 새로운 스위치에게 전달한다. 즉, 기존 방식 대비 LLDP 를 통해 링크 상태를 모니터링 하는 시간과 새로운 스위치가 여러 홉을 거쳐 컨트롤러로부터 포워딩 룰을 수신하는 데까지 걸리는 시간을 단축시킨다. 따라서, 새로운 스위치는 룰 캐싱을 통해 임무 데이터 전달 경로를 빠르게 구축할 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법의 성능을 검증하기 위해 Mininet 울 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 컨트롤러로 ONOS 를 사용하였으며, 19 대의 스위치를 그림 2 와 같이 선형 형태로 연결하여 토폴로지를 구성하였다. 새로운 스위치는 컨트롤러와 가장 멀리 떨어진 스위치에 연결되도록 설정하였으며, 종단간 패킷 손실률은 0~40%까지 10% 단위로 설정하였다. 새로운 스위치가 임무 수행 전달 경로를 구축하는 속도를 비교하기 위해 Netcat 을 이용해 새로운 스위치가 연결된 시점부터 1 번과 20 번 무인기가 임무 수행 데이터를 교환하는 데 소요된 시간을 측정하였다. 비교 알고리즘은 룰 캐싱을 사용하지 않고 reactive forwarding 만 사용한 방식이다.

그림 3 은 종단간 패킷 손실률에 따른 두 알고리즘의 새로운 스위치가 연결된 시점부터 1 번과 20 번 무인기가 임무 수행 데이터를 교환하는 데 소요된 시간을 20 번 측정하여 얻은 값의 평균을 보여준다. 종단간 loss rate 가 {0, 10, 20, 30, 40}% 인 환경에서 본 논문에서 제안한 룰 캐싱을 사용한 방식이 룰 캐싱 없이 reactive forwarding 만 사용한 결과 대비 전달 경로 구축 시간이 각각 약 {74, 76, 70, 50, 61}% 단축된 결과를 보인다. 룰 캐싱 없이 reactive forwarding 만 사용할 경우, SDN 컨트롤러가 LLDP 패킷을 이용하여 새로운 스위치를 인식하는데, 해당 LLDP 패킷이 스위치 1 번과 스위치 20 번 사이의 19 개 링크를 거치고, 이후 컨트롤러가 포워딩 룰을 계산하여 새로운 스위치에 전달하는 과정에서도 19 개 링크를 통과한다. 반면, 본 논문에서 제안하는 룰 캐싱 기법을 이용하면 새로 추가된 스위치에 전달되는 포워딩 룰이 19 번 스위치로부터 바로

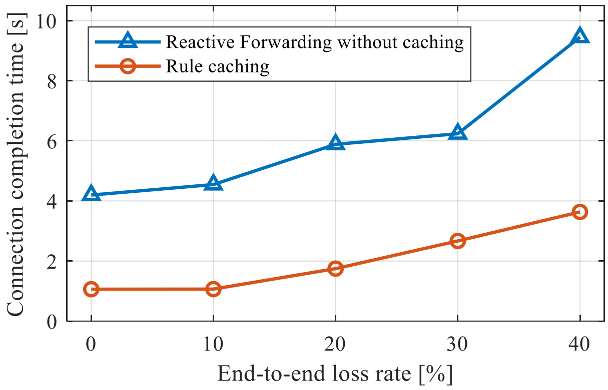

그림 3. Reactive forwarding 과 제안하는 방법의 새로운 스위치의 임무 데이터 전달 경로 구축 소요시간.

전달된다. 즉, 기존 방법 대비 룰 캐싱 기법은 1) 새로운 스위치를 감지하는데 필요한 LLDP 패킷이 전달되는 시간을 제거하며, 2) 포워딩 룰이 전달되는 hop 수를 토폴로지와 관계없이 항상 단일로 유지할 수 있다.

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 SDN 기반 군집 무인 시스템에서 새로운 스위치를 추가되는 환경을 고려하여 룰 캐싱 기법을 이용해 임무 데이터 전달 경로를 빠르게 구축하는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 종단간 loss rate 에 따른 기존 방법과 룰 캐싱을 이용한 기법의 전달 경로 구축 시간을 비교하였으며, 룰 캐싱을 이용한 경우에 투입된 무인기가 최대 76% 빠르게 데이터 전달 경로를 구축하는 것을 검증하였다. 추후, 테스트베드를 구축하여 실제 무선 통신 환경에서 룰 캐싱을 이용한 기법의 성능을 분석할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 군집형 무인 CPS 특화연구실 사업의 일환으로 수행되었습니다 (UD220005VD).

참 고 문 헌

[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] D. Kreutz, et al., "Software-defined networking: A comprehensive survey," Proceedings of the IEEE 103.1, 14-76, 2014.

[3] H.-S. Park, et al., "Wireless SDN Self-Recovery for Unmanned Swarm Cyber-Physical Systems," 2021 21st International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), Jeju, Korea, 2021, pp. 87-90.