

분산 SDN에서 이동성을 고려한 리더 컨트롤러 선택 기법

전 유빈*, 장 석원*, 백 상현°,
김기훈**, 박 현**

Mobility-Aware Leader Controller Selection in Distributed SDN

Youbin Jeon*, Seokwon Jang*,
Sangheon Pack°, Kihun Kim**, Hyun Park**

요 약

이동성이 있는 분산 SDN 컨트롤러들은 움직임으로 인해 컨트롤러 간의 통신이 불안정하게 되어 전체적인 네트워크 성능 저하와 함께 컨트롤러 동기화에 많은 트래픽 부하가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 분산 SDN에서 이동성을 고려하여 리더 컨트롤러를 선택하는 Mobility-Aware Leader Controller Selection (MLCS) 기법을 제안한다. MLCS는 동적인 환경에서 컨트롤러의 안정성 값 (stability value)를 계산하고, 리더/후보 컨트롤러 선택을 통해 도메인 내에서 가상 링을 형성한다. 실험 결과에서는 MLCS가 컨트롤러 간의 자가 구성 (self-organization)을 통해 전체적인 네트워크 성능을 유지하면서 통신비용이 크게 감소함을 보인다.

Key Words : distributed SDN, mobility, virtual ring, leader election, SDN controller synchronization

ABSTRACT

In distributed SDN controllers with mobility, communication between controllers becomes unstable due to movement, resulting in overall network performance degradation. Therefore, in this paper, we

propose the Mobility-Aware Leader Controller Selection (MLCS) method that selects the leader of the controller considering mobility in distributed SDN. MLCS calculates the stability value of the controller in a dynamic environment by forming a virtual ring through leader/candidate controller selection. Simulation results prove that MLCS significantly reduces communication costs while maintaining overall network performance through self-organization between controllers.

1. 서 론

Software Defined Networking (SDN)은 네트워크의 모든 장비를 지능화된 중앙 관리 시스템에 의해 관리하는 기술을 말한다¹⁾. 기존 SDN 구조는 제어 평면을 중앙집중식으로 구성하는데 이는 네트워크 규모가 커짐에 따른 확장성을 보장하기 어렵다는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 논리적으로 중앙집중식이지만 물리적으로는 분산된 SDN 컨트롤러 구조가 제안되었다. 그러나 분산 컨트롤러에서 수집한 네트워크 상태 정보를 다른 컨트롤러와 동기화하는데 많은 트래픽 부하가 발생하고, 이는 전체적인 네트워크 컨트롤 시스템의 처리 성능을 저하한다. 따라서 분산 SDN 컨트롤러 동기화에 있어 트래픽 부하를 완화하기 위한 컨트롤러 리더 선택 기법이 제안되었다.

한편, 전송 환경과 같이 컨트롤러의 이동성이 있는 환경^{2,3)}에서는 이동성이 높은 SDN 컨트롤러들을 리더로 선택한 경우 빈번한 움직임으로 인해 컨트롤러 간의 통신이 불안정하게 되어 전체적인 통신비용이 증가하고 이에 따른 네트워크의 성능 저하가 발생한다. 본 논문에서는 분산 SDN에서 이동성을 고려하여 컨트롤러의 리더를 선택하는 Mobility-Aware Leader Controller Selection (MLCS) 기법을 제안한다. MLCS는 동적인 환경에서 토폴로지 테이블의 변화를 기반으로 컨트롤러의 안정성 값 (stability value)를 계산하고, 리더 및 후보 컨트롤러를 결정한다. 이후 가상 링 (virtual ring)을 형성하여 컨트롤러 간의 동기화를 수행한다. 이는 이동성이 있는 분산 SDN에서 발

* 본 연구는 2020년도 한화시스템(주)의 재원을 지원받아 수행된 연구임.

• First Author : Korea University, School of Electrical Engineering, youbinee@korea.ac.kr, 학생(석박통합과정), 학생회원

° Corresponding Author : Korea University, School of Electrical Engineering, shpack@korea.ac.kr, 정교수, 종신회원

* Korea University, School of Electrical Engineering, imsoyob@korea.ac.kr, 학생(석박통합과정), 학생회원

** Hanwha System, {kihun19.kim@hanwhasystems.com, 정회원; h82.park@hanwhasystems.com

논문번호 : 202109-225-B-LU, Received September 2, 2021; Revised October 3, 2021; Accepted October 12, 2021

생하는 트래픽의 부하를 줄이고, 가상 링 구조를 통해 컨트롤러 간의 자가 구성 (self-organization)을 가능하게 한다.

II. 이동성을 고려한 리더 컨트롤러 선택 기법 (MLCS)

MLCS는 무선 네트워크로 연결된 분산 SDN 환경에서 여러 컨트롤러 노드로 구성된 시스템 모델을 나타낸다. 노드는 모두 랜덤 속도와 방향을 가지고 움직이고, 각 노드는 1-hop을 기준으로 $t-1$ 시점에 연결된 노드 수 (N_p^{t-1}), t 시점에 연결된 노드 수 (N_c^t) 및 $t-1$ 시점과 t 시점에 중복으로 연결된 노드 수 (N_d^t)를 데이터베이스에 저장해 토폴로지 테이블을 관리한다. 따라서 본 장에서는 1) 리더/후보 컨트롤러 선택을 통한 가상 링 형성, 2) 도메인 내 컨트롤러 동기화, 3) 가상 링을 통한 자가 구성 방안을 설명한다.

2.1 가상 링 형성

한 도메인 내의 가상 링을 통해 컨트롤러 동기화를 수행하고, 가상 링을 통한 양방향 통신이 가능하다. 먼저 한 도메인은 SDN 컨트롤러 노드의 집합 (M)으로 구성되고, 집합 M 에서 분산 SDN 컨트롤러 노드 C_n 이 구성되어 있다. 노드가 랜덤으로 이동하는 동적 환경에서는 $t-1$ 시점에서 t 시점으로 토폴로지 테이블의 업데이트가 있을 때마다 N_p^{t-1} 와 N_c^t 를 통해 N_d^t 를 계산하고, N_c^t 대비 N_d^t 의 비율을 통해 이동성에 대한 안정성 값 m_n^t 를 계산한다. 테이블의 업데이트에 따라서 노드의 변화가 없을수록 안정성의 값은 증가하고, 이는 해당 노드의 이동성 값이 낮아 안정적이다.

초기에는 안정성 값이 모두 0이므로 각 N_p^{t-1} , N_c^t 그리고 N_d^t 를 도메인에 있는 모든 노드에게 전달한다. 이후 안정성 값을 계산하여 내림차순으로 정렬하고, 정렬된 순서대로 가상 링을 형성한다. 이때, 가장 큰 안정성 값을 가진 노드가 리더 노드로 선택되고, 리더 노드는 후보 노드들을 선택한다. 노드들의 안정성 값들의 평균 (\overline{lm}^t)을 다음과 같이 계산한다.

$$\overline{lm}^t = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N m_n^t = E[m_n^t] \quad (1)$$

또한 위의 \overline{lm}^t 이상의 안정성을 가진 노드들의 평균 (\overline{um}^t)을 다음과 같이 재계산한다.

$$\overline{um}^t = E[m_n^t \mid m_n^t \geq \overline{lm}^t] \quad (2)$$

상위 노드들의 평균값인 \overline{um}^t 를 기준으로 더 높은 안정성 값을 가진 노드들을 후보 노드 (candidate node)로 선택하고, 선택되지 못한 노드들은 추종 노드 (follower node)로 지정한다. 이후에 후보 노드는 추종 노드들에게 자신이 도메인의 후보 노드임을 가상 링을 통해 전달한다.

2.2 도메인 내 컨트롤러 동기화

도메인 내의 추종 노드와 후보 노드 사이의 컨트롤러 동기화는 다음과 같다. 먼저 추종 노드들은 도메인 내의 후보 노드에게 자신의 이동성, 연결성 등의 토폴로지 테이블 정보를 가상 링을 통해 전달한다. 후보 노드는 추종 노드의 정보를 수집하여 가상 링 관리하고, 리더 노드에게 정보를 전달한다. 후보 노드가 여러 개일 경우, 추종 노드들은 가상 링을 통해 자신과 가까이에 있는 후보 노드를 선택하여 전달하고, 후보 노드 중에서 안정성 값이 큰 후보 노드가 가상 링을 관리한다. 리더 노드는 후보 노드에게 받은 가상 링 정보를 토대로 다른 도메인의 리더 노드와 동기화를 수행한다. 즉, 후보 노드는 도메인 내의 정보를 수집 및 가상 링을 관리하고, 리더 노드는 후보 노드로부터 수집한 정보를 다른 도메인의 리더 노드와 동기화한다.

2.3 가상 링을 통한 자가 구성

그림 1은 가상 링의 자가 구성의 예를 보여준다. 먼저 리더 노드 C_1 에 장애가 발생할 경우, 후보 노드 C_2 가 이를 인지하고 스스로 리더 노드가 되어 다른 도메인의 리더 노드에게 변경을 알린다. 이때, C_2 는 리더/후보 노드의 역할을 모두 수행하기 때문에 추종 노드들은 리더 노드의 부재를 알 필요가 없다. C_2 는 후보 노드의 역할을 동시에 수행하다가 새로운 후보 노드를 선출하고, 새로 선택된 후보 노드가 가상 링을 따라 도메인 내의 추종 노드에게 새로운 후보 노드에 대한 정보를 전달한다.

도메인 내에 새로운 노드가 생성될 경우, 새로운 노드는 브로드캐스팅을 통해 가장 가까운 노드 C_3 에 자신의 N_p^{t-1} 와 N_c^t 를 전달한다. C_3 은 새로운 노드의 안정성 값을 계산하여 C_2 에게 전달하고, C_2 는 새로운 노드의 안정성 값을 바탕으로 새로운 가상 링을 형성한다. 이후 C_2 는 새로운 노드의 이웃이 될 추종 노드 C_5 , C_6 , C_3 , 리더 노드 C_1 과 새로운 노드에게 가

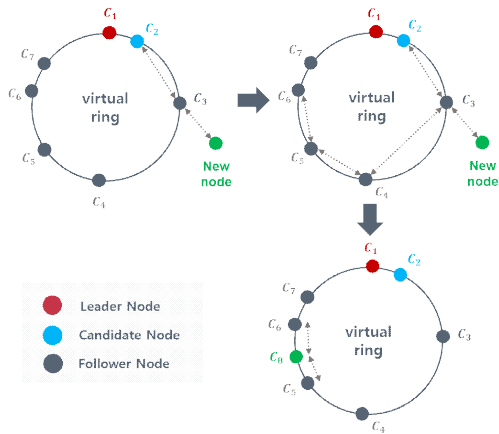


그림 1. 가상 링을 통한 자가 구성 예
Fig. 1. A example of self-organization of virtual ring

상 링을 전달하고, 새로운 노드는 C_8 을 부여받는다.

III. 실험 결과

시뮬레이션 환경은 통신 반경 범위 $R=100m$ 인 이동성이 있는 컨트롤러들로 구성되어 있으며 토폴로지 테이블 업데이트 시간 간격은 5초로 가정한다. 컨트롤러의 이동성은 $1m/s \sim 10m/s$ 사이의 정규 분포 값을 갖고, random waypoint model을 사용한다. 노드의 전송 속도는 $1Mbps \sim 10Mbps$ 사이의 정규 분포를 따르고, 전체적인 시뮬레이션 환경은 $1000X1000m^2$ 으로 구성된다. 시뮬레이션에서는 제안하는 MLCS 기법, 리더 컨트롤러를 중심으로 나머지 추종 노드들이 중앙집중식으로 연결되는 CENTER 기법, 그리고 분산 환경에서 브로드캐스팅 방식으로 동기화를 수행하는 BROAD 기법을 비교한다.

그림 2는 총 통신비용에 대한 노드 수의 영향을 나타낸다. 여기서 통신비용은 리더 컨트롤러와 추종 컨트롤러 간에 전달되는 전체 패킷의 수를 의미한다. 그림 2의 결과를 보면 MLCS 기법이

CENTER 기법 및 BROAD 기법보다 통신비용이 낮다. MLCS 기법은 이동성을 고려하여 가상 링을 생성하고, 링을 따라 업데이트되는 정보를 전달한다. 즉, MLCS에서의 한 노드는 양옆에 있는 노드에게만 변경된 정보를 전달하기 때문에 비교 기법들과 비교해 통신비용이 많이 감소한다. CENTER 기법은 리더 컨트롤러를 중심으로 모든 추종 노드의 통신이 이루어질 뿐만 아니라 노드들의 움직임으로 인한 통신의 불안정을 고려하지 않았다. 또한 BROAD 기법에서는

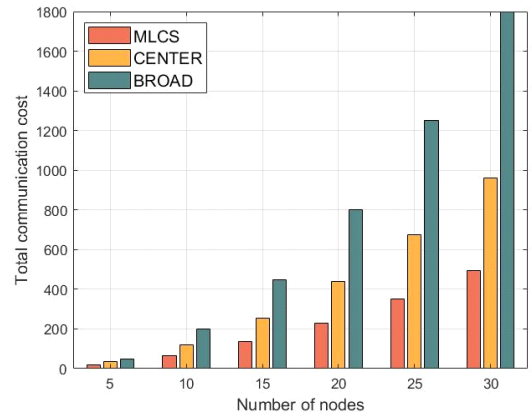


그림 2. 통신비용에 대한 노드 수의 영향
Fig. 2. Effect of number of nodes on communication cost

이동성을 고려하지 않고 브로드캐스팅으로 전달하기 때문에 노드의 높은 이동성이 있는 경우 불필요한 통신이 발생하여 상대적으로 통신비용이 많이 발생한다.

IV. 결론

본 논문에서는 분산 SDN에서 이동성을 고려하여 컨트롤러의 리더를 선택하는 MLCS 기법을 제안했다. 향후 연구에서는 다중 도메인에서의 컨트롤러 내 동기화 및 컨트롤러 간 동기화 연구를 진행할 예정이다. 또한 실제 움직임이 있는 SDN의 환경을 바탕으로 다중 도메인에서 컨트롤러 내/간의 통신비용의 성능을 검증할 예정이다.

References

- [1] G. Lee, I. Jang, W. Kim, S. Joo, M. Kim, S. Pack, and C. Kang, "SDN-Based middlebox management framework in integrated wired and wireless networks," *J. KICS*, vol. 39, no. 6, pp. 379-386, Jun. 2014.
- [2] K. Poularakis, G. Iosifidis, and L. Tassioulas, "SDN-Enabled tactical ad hoc networks: extending programmable control to the edge," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 7, Jul. 2018.
- [3] A. Dusia and A. S. Sethi, "Software-Defined architecture for infrastructure-less mobile ad hoc networks," in *Proc. 2021 IFIP/IEEE Int. Symp. Integr. Netw. Manag. (IM)*, May 2021.