

소프트웨어 정의 무선 메쉬 네트워크에서 마스터 컨트롤러 선택방법

남 승 태*, 이 승 섭*, 이수 경^o

Master Controller Selection Method in Software-Defined Wireless Mesh Network

SeungTae Nam*, SeungSeob Lee*,
SuKyoung Lee^o

요 약

소프트웨어 정의 무선 메쉬 네트워크에서 새로운 패킷에 실시간으로 잘 대응하기 위해선 가장 낮은 지연시간을 갖는 Flow Setup이 필요하다. 본 논문은 서포트 벡터 머신(SVM)으로 영구적 링크 끊김을 예측하고 이를 바탕으로 미리 Flow Setup을 준비하여 기존 방법보다 끊김없이 낮은 지연시간을 갖는 마스터 컨트롤러 선택방법 RCM을 제안한다.

Key Words : Wireless Mesh Network, Software Defined Network, OpenFlow, Machine Learning, Link Failure Prediction, Flow Setup Latency

ABSTRACT

In Software-Defined Wireless Mesh Network, a Flow Setup with the lowest delay is needed to adequately cope with new incoming packet in real time. Therefore, Master Controller Selection Method RCM that prepares Flow Setup in advance for more seamless and lower Flow Setup delay than existing methods is proposed by using SVM that predicts

permanent link failure.

I. 서 론

SDN(Software Defined Network)은 유지보수 및 관리가 어려운 전통적인 네트워크의 문제점을 해결하기 위한 새로운 네트워크 패러다임이다¹⁾. 최근에는 SDN을 비단 유선에서 뿐만 아니라 무선 네트워크에도 적용하려는 시도가 계속되고 있다. 예로 WMN(Wireless Mesh Network)에 SDN을 적용한 SDWMN(Software Defined Wireless Mesh Network)은 WMN의 불균형한 대역폭, 높은 지연, 복잡한 관리에 대한 문제점을 개선하기 위해 제안된 개념이다. SDN에서는 마스터 컨트롤러가 각 스위치에 실시간으로 포워딩 규칙을 전달하고 적용하여 상기 문제점들을 해결한다.

SDN에서 일반적으로 사용되는 단일 중앙 컨트롤러 구조는 제어 평면의 단일링크 끊김이나 마스터 컨트롤러의 오작동시 네트워크 정전이 발생한다는 문제점이 있다. 이를 개선하기 위한 방법으로 분산 컨트롤러 구조가 제안되었지만²⁾, 이를 실현하기 위해서는 마스터 컨트롤러와 각 스위치와의 통신 지연시간이 실시간성을 보장하도록 마스터 컨트롤러를 선택하는 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 메쉬 토폴로지에서 머신러닝이 적용된 영구적 링크 끊김 예측방법⁵⁾을 이용하여 기존 마스터 컨트롤러 선택방법^{3,4)} 대비 낮은 지연시간으로 마스터 컨트롤러 선택하는 방법 RCM(Realtime Controller selection Method)을 제안한다.

II. 영구적 링크 끊김 예측

영구적 링크 끊김을 예측하는 방법⁵⁾은 데이터 평면의 직접적인 관측과 제어 평면의 컨트롤러가 가지는 topology global information을 같이 이용하여 제어 평면의 컨트롤러에서 훈련된 SVM을 통해 영구적 링크 끊김을 예측하는 방법이다. 링크 끊김 예측을 위해 사용하는 링크 품질 측정 수단으로 Signal to Noise Ratio(SNR)을 사용한다. SNR은 대표적인 링

* 본 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.NRF-2017R1A2B4002000)

• First Author : (ORCID:0000-0001-6089-2918)Yonsei University Department of Computer Science College of Engineering, steek010@yonsei.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Yonsei University Department of Computer Science College of Engineering, sklee@yonsei.ac.kr, 종신회원

* Yonsei University Department of Computer Science College of Engineering, shsym@yonsei.ac.kr, 학생회원

논문번호 : 201807-227-B-LU, Received July 24, 2018; Revised September 10, 2018; Accepted September 17, 2018

크 품질 측정 수단이지만 잡음이 동반되어 측정되기 때문에 값의 변동이 심하다 따라서 칼만필터를 적용하여 잡음 값을 평활화한다.

$$\sum_i^n \frac{(SNR_{pq}(i) - \overline{SNR_{pq}(i)})(tSNR(i) - \overline{tSNR(i)})}{\sqrt{(SNR_{pq}(i) - \overline{SNR_{pq}(i)})^2(tSNR(i) - \overline{tSNR(i)})^2}} \quad (1)$$

그 뒤 평활화된 SNR값의 NCC(Normalized Cross Correlation), 식 (1)을 구해서 측정값이 실제 링크 끊김 훈련 데이터와 얼마나 유사성을 갖는지 데이터 평면에서 비교하여 예측한다. $SNR_{pq}(i)$ 는 스위치 p, q 간 측정된 i 번째 SNR값이고 $tSNR(i)$ 는 $SNR_{pq}(i)$ 와 상응하는 링크 끊김 트레이닝 데이터이다. $\overline{SNR_{pq}(i)}$ 과 $\overline{tSNR(i)}$ 는 각각의 평균이다. 그리고 나서 평활화된 SNR값들을 SVM의 입력 특징으로 사용한다. 이렇게 평활화된 SNR값과 스위치간의 거리는 선형관계에 있기 때문에 이를 바탕으로 링크 끊김을 추정할 수 있다. 데이터 평면에서 특정 스위치가 관찰한 연결 끊김시의 시간에 따른 필터링 된 SNR값으로 연결 끊김을 예측하는 SVM을 훈련하고 특정 스위치 주변노드의 관찰값을 알 수 있는 컨트롤러의 네트워크 토폴로지 정보를 같이 이용한다. 이를 통해 제어 평면의 SDN 컨트롤러에서 종합적인 판단이 가능하다. 이는 이차 계획법을 이용한 최적화 문제 식 (2)로 풀 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} \\ & \sum_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \\ & \text{s.t.} \sum_{i=1} \alpha_i y_i = 0, \\ & 0 \leq \alpha_i \leq C, \forall i \end{aligned} \quad (2)$$

III. 제안 알고리즘

분산 컨트롤러 형태의 SDN에서는 각 스위치 s 마다 포워딩 규칙을 담당하는 마스터 컨트롤러 c 가 존재한다. s 에 새로운 패킷이 들어와서 table miss가 발생하면 이 패킷에 대해 포워딩 규칙을 결정하기 위해 c 에게 packet-in 메시지를 통해 규칙을 요청해야 한다. 이후 c 는 새로운 패킷에 대해 포워딩 규칙을 결정하여 요청한 스위치 s 에게 packet-out 메시지로 응답한다. Flow Setup을 위한 이런 일련의 과정은 실시간으로 들어오는 Flow에 잘 대응하기 위해선 지연시간을 최소화 해야 하기 때문에 본 논문에선 Flow Setup

지연시간을 최소화 하는 마스터 컨트롤러 선택방법 RCM을 제안한다.

3.1 경로 최적화

링크 끊김이 예측되면 새로운 마스터 컨트롤러를 선택하고 대체 경로를 찾아야한다. 대체 경로를 찾는 것은 기존에 스케줄링된 트래픽의 분포와 재 스케줄링된 트래픽의 분포와의 차이를 최소화 하는 것으로 귀결된다. 조건을 만족하는 경로최적화는 아래와 같이 표현할 수 있다⁵⁾.

$$\begin{aligned} & \text{Min:} \sum_{e \in E} \| b_A^e(e) - f_A^e(e) \|_1 \\ & \text{Subject to:} \\ & TD_f^{ct} \leq \Phi_f^{ct}, \forall f \in TD^{ct} \\ & \sum b^e(e) \leq c(e), \forall e \in E \\ & \sum_{i \in K}^{p \in b(e)} F_{v:out}^{ch(i)} = \sum_{i \in K} F_{v:m}^{ch(i)}, \\ & \forall v \in V, \{F_{v:out} \cup F_{v:m}\} \not\subset \{b(v, \sim), b(\sim, v)\} \\ & \frac{b_e^{ch(i)}}{c_{ch:i}(e)} + \sum_{e \in \ell(e)} \frac{b_e^{ch(i)}}{c_{ch:i}(e')} \leq C_{\ell(e)}, \forall e \in E, i \in K \end{aligned} \quad (3)$$

위 식 (3)의 조건을 살펴보면 트래픽 부하가 일정 수준 이하이고 ($TD_f^{ct} \leq \Phi_f^{ct}$), 재 스케줄링 된 트래픽 전송량이 링크 수용량 보단 낮고 ($\sum_{p \in b(e)} b^e(e) \leq c(e)$), 각 스위치의 대기 큐가 초과되지 않아야 하며 ($\sum_{i \in K} F_{v:out}^{ch(i)} = \sum_{i \in K} F_{v:m}^{ch(i)}$), 링크간 간섭이 허용치 아래여야 한다 ($\frac{b_e^{ch(i)}}{c_{ch:i}(e)} + \sum_{e \in \ell(e)} \frac{b_e^{ch(i)}}{c_{ch:i}(e')} \leq C_{\ell(e)}$).

3.2 컨트롤러 선택

마스터 컨트롤러 선택 시에는 식 (3) 조건에 스위치 간 전송범위 SNR 임계값 T_{cs} 가 추가된다. 새로운 Flow가 스위치에 들어왔을 때 시기적절하게 대응하기 위해 실시간 Flow Setup 지연시간을 최소화하고 새로운 마스터 컨트롤러와 스위치간 통신에 장애가 없도록 다음의 조건을 만족해야한다.

$$\begin{aligned} & \text{Min:} \sum_{s \in \rho_c} D(s) + \sum_{e \in \rho_c} D(e), \forall s \in S, e \in E \\ & \text{Subject to:} \\ & TD_f^{ct} \leq \Phi_f^{ct}, \forall f \in TD^{ct} \\ & \sum b^e(e) \leq c(e), \forall e \in E \\ & \sum_{i \in K}^{p \in b(e)} F_{v:out}^{ch(i)} = \sum_{i \in K} F_{v:m}^{ch(i)}, \\ & \forall v \in V, \{F_{v:out} \cup F_{v:m}\} \not\subset \{b(v, \sim), b(\sim, v)\} \\ & \frac{b_e^{ch(i)}}{c_{ch:i}(e)} + \sum_{e \in \ell(e)} \frac{b_e^{ch(i)}}{c_{ch:i}(e')} \leq C_{\ell(e)}, \forall e \in E, i \in K \\ & T_{cs} < SNR_e, \forall e \in E \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에 따라 스위치와 마스터 컨트롤러의 기존 경로에 연결 끊김이 예측되어 마스터 컨트롤러의 변경이 필요할 때에 스위치에서 새로운 마스터 컨트롤러까지의 경로상에 존재하는 모든 스위치 s 에서 전송을 위해 필요한 serialization delay $D(s)$ 와 링크 e 를 통한 전송에 걸리는 시간 propagation delay $D(e)$ 를 최소화 하는 컨트롤러가 새로운 마스터 컨트롤러로 선택된다.

IV. 모의 실험

제안 마스터 컨트롤러 선택 알고리즘의 성능 측정을 위해 표 1과 같은 모의 무선 환경을 기반으로 해서 Master Controller Handoff Decision Timing과 Flow Setup Latency를 중점적으로 알아보고자 실험 환경을 자체적으로 Matlab을 이용하여 Openflow 1.2 기반 프로토콜의 packet-in, packet-out 메시지를 주고받는 상황으로 간략화 한 가상의 무선 메쉬 SDN 환경을 구축하고 시뮬레이션을 진행하였다. 각 스위치들은 802.11g을 기반으로 서로 통신을 한다고 가정하였으며, 500m x 500m 크기의 영역에 총 30개의 스위치들을 배치하였다. 실험 영역을 사선으로 삼등분 하여 컨트롤러와 연결된 고정 스위치를 3개 배치하고 나머지 27개의 스위치는 무작위로 배치하였고 Random Waypoint Mobility를 적용하여 최대 10m/s 속도로 움직인다. 간섭은 백색잡음만 존재한다고 가정했을 때, 54Mbps 모드에서 패킷 에러율 1% 미만을 통신 영역으로 지정하였다. 각 스위치의 propagation delay와 serialization delay는 계산값의 5%를 표준편차로 갖는 정규분포를 따르도록 설정했다. 가상 모의환경에서 진행되는 실험이지만 최대한 실제와 가까운 데이터를 생성하기 위해 데이터 트래픽의 Satisfactory Quality를 보장하는 임계값인 PER 1%^[6]에 해당하는 SNR(dB)값이 나오는 거리를 구한다. 그리고 이 거리를 threshold 값으로 전통적인 handoff 알고리즘인 RSS-HT (Relative Signal Strength with Hysteresis

and Threshold)를 스위치에 적용하여 Link Failure 혼란 데이터를 생성하였다.

<그림 1.>은 링크 끊김이 벌어지는 스위치에서 관찰한 컨트롤러1, 2와의 필터링된 SNR값과 거리 그리고 마스터 컨트롤러 변경 결정 시점을 보여준다. 기존 마스터 컨트롤러 변경방법 Anticipatory handoff^[3]의 경우 t_A 시점에서 마스터 컨트롤러 변경 결정이 내려졌다, 지난 k 개의 ETX의 평균을 이용하여 $t+1$ 시간의 노드의 ETX를 예측하므로 Linear Regression을 하기위한 ETX 평균값들이 k 개 모이기 까지 지연시간이 발생한다. 또 다른 기존 마스터 컨트롤러 변경방법 Optimal average RTT^[4]의 경우에는 스위치와 컨트롤러 간 일정 시간 동안의 RTT 평균으로 마스터 컨트롤러가 결정되므로, RTT 값이 역전이 되는 순간인 t_{R1} , t_{R2} 때마다 높은 확률로 컨트롤러 핸드오프가 발생하기 때문에 불필요한 마스터 컨트롤러 변경이 많다. 이에 반해 제안방법은 NCC값(0.8)을 설정하고 이 이상의 NCC값이 나오는 시점에서 SVM을 통해 마스터 컨트롤러 핸드오프가 결정되도록 하였다. 그 결과 다른 방법보다 일찍 t_P 시점에 마스터 컨트롤러 변경 결정이 내려지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 적절한 NCC값의 설정은 중요하다. 그 이유는 NCC값에 따라 마스터 컨트롤러 변경 결정 시점과 컨트롤 트래픽 오버헤드라는 trade off 관계가 존재하기 때문이다. NCC 값을 낮게 설정하면 실제 Link Failure SNR 패턴이 아님에도 불구하고 스위치가 컨트롤러에게 SVM을 통한 정밀한 예측을 요청하는 불필요한 Control Traffic이 발생할 수 있지만 마스터 컨트롤러 변경 시점은 당겨질 수 있고 반대의 경우에는 True Link

표 1. 시뮬레이션의 무선환경 설정 값
Table1. Wireless configuration value of the simulation

Item	Value
Transmission Type	OFDM
Modulation	64QAM
Data Rate	54Mbps
Packet Size	1500Byte
Link Capacity	20MHz

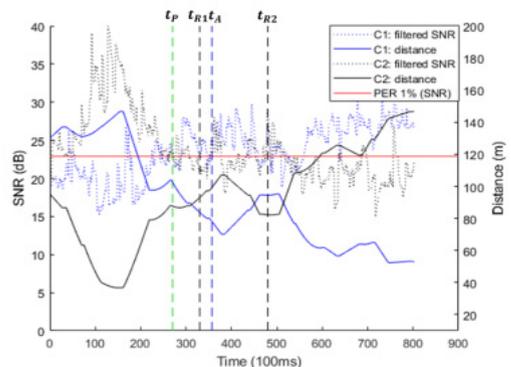


그림 1. 스위치와 컨트롤러 1, 2(C1, C2)의 마스터 컨트롤러 변경 결정 시점
Fig. 1. Master Controller Handoff Decision timing between the Switch and Controller 1, 2 (C1, C2)

표 2. 스위치와 컨트롤러간 왕복 지연시간
Table 2. Round trip Latency between Switch and Controller

Method	Optimal Average RTT	Anticipatory handoff	RCM
Value (μs)	1293.666	1267.596	1264.498

Failure 경우에만 주로 예측을 요청하게 되지만 마스터 컨트롤러 변경 시점은 다소 늦춰질 수 있다.

표 2는 각 방법의 컨트롤러와의 왕복 지연시간을 알아보기 위해 1000개의 실험 샘플로 평균을 낸 값이다. Optimal average RTT^[4]의 경우 propagation delay 만 고려되었기 때문에 각 스위치에서 발생하는 serialization delay 의 변동에 의해 제안보다 비교적 높게 나온 것으로 보인다. Anticipatory handoff^[3] 방법은 경로 ETX 최소화를 통해 거의 최소 홉 경로지만 delay가 고려되지 않아 일부 경로에서 상대적으로 느린 것으로 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 SDWMN환경에서 OpenFlow 기반 무선 스위치에서 링크 끊김 예측을 통해 마스터 컨트롤러 변경 절차를 사전에 수행하여 Flow Setup 지연 시간을 최소화 하는 마스터 컨트롤러 선택 방법 RCM 을 제안하였다. 현실 적용 가능성을 알아보기 위해 향후 데이터 트래픽을 추가하고 SNR값에 따라서 변조기법이 달라지는 환경에서 실험을 확장 할 필요가 있다.

References

- [1] S. Pack, I. Jang, D. Seo, and J. H. Lee. "New paradigm of future network about SDN/NFV," *J. KICS*, vol. 30, no. 7, pp. 82-92, Jun. 2015.
- [2] K. Kuroki, et al., "Scalable OpenFlow controller redundancy tackling local and global recoveries," in *Proc. Fifth Int. Conf. Advances in Future Internet*, pp. 25-31 Barcelona, Spain, Aug. 2013.
- [3] A. V. Mamidi, et al., "Dynamic multi-hop switch handoffs in software defined wireless mesh networks," *2015 IEEE Int. Conf. ANTS*, pp.1-6. Kolkata. India. Dec. 2015.
- [4] B. Heller, R. Sherwood, and N. McKeown, "The controller placement problem," in *Proc. ACM HotSDN*, pp. 7-12. Aug. 2012.
- [5] K. Bao, J. D. Matyjas, and F. Hu, "Intelligent software-defined mesh networks with link-failure adaptive traffic balancing," *IEEE Trans. Cognitive Commun. and Netw.*, pp. 1-11, Feb. 2018.
- [6] A. A. Atayero, O. I. Sheluhin, and Y. A. Ivanov, "Modeling, simulation and analysis of video streaming errors in wireless wideband access networks," *IAENG Trans. Eng. Technol.*, pp. 15-28, Sept. 2013.