

소프트웨어 정의 네트워킹을 통한 가상 로컬 영역 네트워크 동적 재구성 기법

김진홍, 정재훈

성균관대학교 소프트웨어학과

Email: soleid1498@g.skku.edu, pauljeong@skku.edu

A Dynamic Reconfiguration Scheme for Virtual Local Area Networks through Software-Defined Networking

Jinhong Kim and Jaehoon (Paul) Jeong

Department of Computer Science and Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

본 논문은 소프트웨어 정의 네트워킹(Software-Defined Networking, SDN)을 통해 가상 로컬 영역 네트워크(Virtual Local Area Network, VLAN) 재설정 기법을 제안한다. 기존의 스위치 포트별로 고정된 정적 가상 로컬 영역 네트워크(VLAN)에서의 특정 VLAN에 트래픽이 편중될 수 있다. 본 논문의 기법은 이러한 문제를 해결하기 위해 트래픽 관측에 기반한 동적 VLAN 재구성을 제공한다. 제안된 기법은 5~10초 주기로 호스트별 전송량을 수집하고, 트래픽 임계치를 초과한 혼잡 VLAN이 발견될 경우 해당 VLAN의 구성 호스트를 선택하여 저부하 VLAN으로 자동 배속시켜 혼잡을 완화한다. 실험을 통해 정적 VLAN 구성 방식보다 동적 VLAN 구성 방식이 VLAN 간 처리량 분포를 균등화하고 과부하 구간의 지속 시간을 단축함을 확인하였다. 제어 주기·임계치 설정과 호스트 재배치 수가 성능과 안정성에 미치는 영향을 논의한다. 따라서 제안된 기법은 VLAN의 보안적 의미를 유지하면서도 SDN을 활용해 링크 계층인 2계층(L2)의 자원 활용도를 실용적으로 향상시킬 수 있다.

I. 서 론

로컬 영역 네트워크(Local Area Network, LAN)에 스위치들이 설치되고 각 스위치 포트에 호스트를 고정하는 가상 로컬 영역 네트워크(Virtual Local Area Network, VLAN)의 정적 기법이 많이 사용되고 있다. 이러한 정적 VLAN 구성 방식은 네트워크가 단순하고 운용하기 쉽지만, 트래픽 분포가 시간에 따라 크게 변화하는 환경에서는 특정 VLAN에 트래픽 부하가 몰리는 것을 신속히 대응하기 어렵다. 그 결과 동일한 물리 자원을 공유하면서도 VLAN 간 체감 성능 격차가 커지고, 과부하가 발생한 VLAN에서는 지연이 길어질 수 있다. 소프트웨어 정의 네트워킹(Software-Defined Networking, SDN)은 제어 플레인(Control Plane)과 데이터 플레인(Data Plane)을 분리해 SDN 제어기가 전역 관점에서 네트워크 라우팅 및 보안 정책을 빠르게 SDN 네트워크에 적용할 수 있다. 이를 활용하면 트래

픽을 관측해 필요할 때만 최소 범위로 호스트들을 재구성하는 동적 VLAN 운영이 가능하다. 본 연구는 이러한 배경에서 SDN 네트워크에서 동적 VLAN 재설정 기법을 제안한다. 제안 방식은 5~10초 주기로 SDN 스위치에서 호스트별 전송량을 관측하고, 임계치를 초과한 VLAN이 발견되면 해당 VLAN의 로컬 정책에 따라 해당 VLAN의 호스트를 저부하 VLAN으로 배속시킨다. 이러한 배속은 저부하 VLAN 태그로 관련 호스트들을 재설정한다. 이러한 기법은 복잡한 예측모델 없이도 혼잡 구간의 지속 시간을 줄이고 VLAN 간 처리량 분포를 균형화할 수 있다는 점에서 실용적이다. 실험은 Ryu(OpenFlow 1.3), Open vSwitch 및 Mininet 환경에서 단일 스위치 토폴로지를 구현하고, iperf 기반 측정으로 정적 재설정 대비 동적 재설정의 효과를 정량 비교한다. 평가 지표는 초 단위 VLAN 총 처리량, 이동 발생 시점 전후의 지연 변화, 과부하 지속 시간 등으로 구성한다. 본 논문의 의의는 VLAN의 독립성과

보안적 격리를 유지하면서도 간결한 제어 루프만으로도 링크 계층인 2계층(L2)의 자원 활용도를 개선한 것이다.

II. 본 론

2.1 시스템 개요

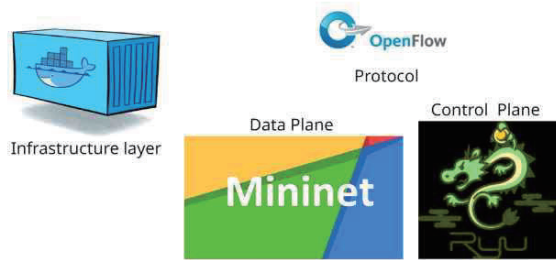


그림 1. 소프트웨어 정의 네트워크

그림 1과 같이 단일 컨테이너 내에서 Mininet를 운용하였고, Ryu SDN 제어기는 Open vSwitch들을 OpenFlow로 제어하게 SDN 네트워크를 구성했다.

2.2 토폴로지와 VLAN 설계

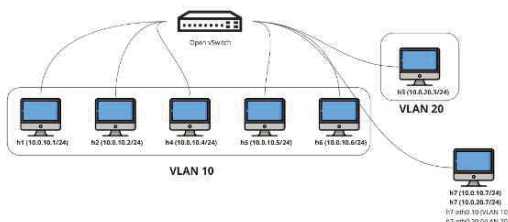


그림 2. 단일 스위치 VLAN 토폴로지

클라이언트(h1~h6)는 VLAN 10/20으로 정적으로 분리되며 h7 서버는 802.1Q 서브 인터페이스를 통해 두 VLAN 트래픽을 모두 수용한다.

2.3 동적 VLAN 재구성 제어 루프

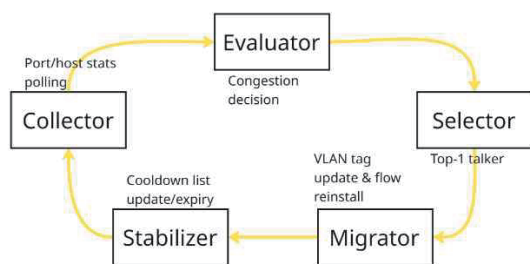


그림 3. 동적 VLAN 재구성 제어 루프

- 수집부(Collector): 스위치 포트/호스트 통계 수집
- 판정부(Evaluator): VLAN 전송량 기반 혼잡 판정
- 선정부(Selector): 혼잡 VLAN 내 호스트 1개 선택
- 이동부(Migrator): 대상 호스트의 VLAN 태그 조정 및 최소 플로우 재설정
- 안정화부(Stabilizer): 호스트의 왕복 이동 방지를 위한 쿨다운

III. 결 론

본 논문은 Mininet-OVS-Ryu(OF1.3) 기반으로 “동적 VLAN 재설정 제어 루프”를 설계 및 구현하였고, 실시간 트래픽 집계에 따라 트래픽 플로우 규칙을 재설정하는 기법을 제안하였다. (1) 스위치 포트별 전송 바이트를 수집·VLAN별 BPS(Bytes per Second)를 집계하고, (2) 불균형 임계 초과 시 가장 큰 발신 포스트를 식별해 부하량이 적은 VLAN으로 재배포치키며, (3) 재배포 이후 안정화(쿨다운)를 적용하는 폐쇄 제어 루프(Closed Control Loop)를 구성하였다. 향후 연구는 성능 측정을 위해 iperf 트래픽을 끊임없이 생성하여 정적 VLAN 재설정과 동적 VLAN 재설정 기법의 성능 분석을 할 계획이다. 계층 불일치로 인한 세션 단절, 실시간 집계-판정-재설치가 전송 구간과 겹치면서 발생하는 문제들을 해결할 계획이다. 또한 클라이언트가 블록 시작 시 현재 VLAN에 맞는 서버로 자동 연결하도록 트래픽 생성기를 보완하고 세션 보존을 위한 L3 기반 마이그레이션을 검토함을 통해 SDN 기반 동적 자원 할당의 안정성의 확보를 제시한다.

Acknowledgments

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2022-II221199, RS-2024-00398199).

References

- [1] Ryu SDN Framework Project. “Ryu SDN Framework Documentation”, <https://ryu.readthedocs.io/en/latest/>
- [2] Mininet. “Mininet: An Instant Virtual Network on Your Laptop”, <https://mininet.org/>
- [3] M. Spangenberg, V. Boye, and J. Jeong, “Dynamic Virtual Local Area Network Provisioning in Software-Defined Networking”, KICS Winter Conference, Feb. 2025.