

# K-최단경로 알고리즘과 정체기여도를 사용한 소프트웨어 정의 네트워킹 기반의 트래픽 부하 분산 기법

홍동진, 정재훈

성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

{dong.jin, pauljeong}@skku.edu

## A Traffic Load Balancing Scheme using K-Shortest Path Algorithm and Congestion Contribution based on SDN

Dongjin Hong, Jaehoon (Paul) Jeong

Department of Computer Science and Engineering, Sungkyunkwan Univ.

### 요약

본 논문은 차량네트워크 분야의 기존연구를 네트워크 분야에 적용시키는 방법에 대해 소개하려 한다. 네트워크 토폴로지도 패킷이 돌아다니는 일종의 도로라고 생각할 수 있다. 또한, SDN의 등장으로 스위치를 소프트웨어를 통해 관리하고 네트워크에 대한 글로벌 뷰를 확인 가능해짐에 따라 가까운 미래를 예측하여 트래픽을 분산시키는 기존 연구를 네트워크 분야에 적용시키는 것이 가능해졌다. 본 논문에서는 K-최단경로 알고리즘과 차량네트워크에서 트래픽 최적화를 위해 제안되었던 정체기여도(Congestion Contribution, CC)를 기반으로 SDN(Software Defined Networking) 네트워크상에서 동적으로 변화하는 트래픽을 부하 분산하는 방법을 제안한다.

### I. 서론

컴퓨터 네트워크는 여러 프로토콜과 라우터, 스위치, 허브, 가속기 그리고 방화벽과 같은 하드웨어가 복잡하게 조합되어 이루어졌다. 더불어 과거에는 네트워크의 규모가 지금과 같이 복잡해지고 커질 것이라고 상상하지 않았기에 유연하게 설계되지 않았다. 하지만 최근 네트워크는 사물인터넷, 빅데이터, 클라우드 서비스와 같은 기술들의 발전으로 트래픽이 급격하게 늘어나고 패킷이 다양해져 네트워크의 복잡도가 높아지고 정체를 유발한다.

위와 같은 문제를 해결하기 위해 유연한 네트워크에 대한 연구가 진행되었고 결과로 네트워크의 제어 및 데이터 계층을 분리하여 네트워크 제어를 위해 직접적으로 프로그래밍 할 수 있게 하는 소프트웨어 정의 네트워킹(Software Defined Networking, SDN)[1]이 등장했다. 분리시킨 제어 계층과 컨트롤러는 표준 통신 인터페이스에 해당하는 프로토콜이며 SDN 기술의 핵심 구성요소인 OpenFlow[2]를 통해 통신한다. 이를 통해 로컬 뷰(Local View)만 확인할 수 있던 기존의 네트워크가 OpenFlow의 통계 정보를 사용하여 글로벌 뷰(Global View)를 확인하고 유지하는 것이 가능해졌다.

본 논문에서는 차량네트워크의 관리 하에 있는 전체 도로의 트래픽 대한 글로벌 뷰를 기반으로 가까운 미래를 예측하여 트래픽을 분산시키는 차량네트워크 분야의 기존연구인 SAINT(Self-Adaptive Interactive Navigation Tool)[3]를 네트워크 분야에 적용시키려 한다. 해당 기존 연구는 다양한 실험 결과를 토대로 자신들의 알고리즘을 검증했다. 네트워크도 토폴로지 또한 패킷이 돌아다니는 일종의 도로라고 생각할 수 있고 SDN 네트워크에서 글로벌 뷰가 확인 가능해짐에 따라 기존연구를 적용할 수 있지만 연구 분야의 영역이 달라져 글로벌 뷰를 얻는 과정이나 트래픽을 부하 분산 시키는데 있어 차이가 존재한다. 따라서, 본 논문에서는 연구 영역이 달라짐에 따라 발생하는 차이와 한계점에 대해서도 언급하고 해결 방안을 소개한다.

### II. 본론

본론에서는 기존연구인 SAINT와 기존연구의 아이디어를 기반으로 SDN 네트워크에서의 트래픽 최적화에 대해 설명한다.

#### 1. SAINT(Self-Adaptive Interactive Navigation Tool)

자가적응형 내비게이션 도구는 차량네트워크의 교차로에 위치한 많은 노변지측국(Road Side Unit, RSU)들이 차량들과 통신하여 특정 도로의 교통정보를 생성하여 교통관제센터(Traffic Control Center, TCC)에 실시간으로 보고한다. 보고받은 교통 정보와 차량들이 주기적으로 보고하는 주행경로를 기반으로 교통관제센터는 경로에 알맞게 정체기여도(Congestion Contribution, CC)행렬에 값을 추가하고 해당 차량이 한 홉(hop)을 이동할 때마다 행렬에서 값을 빼는 것으로 차량네트워크에 대한 글로벌 뷰를 얻는다. 실시간으로 계산되는 행렬과 K-최단경로 알고리즘[4]을 기반으로 차량들에게 전역 최적화가 이루어진 경로를 안내하여 트래픽을 부하 분산 시킨다.

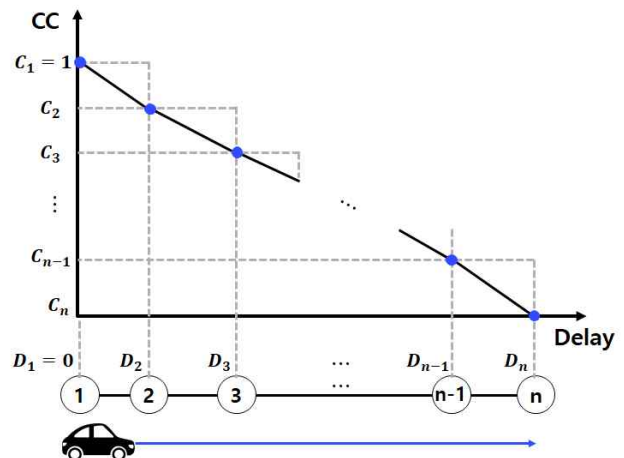


그림 1. 정체기여도 그래프

그림 1은 자가적응형 내비게이션 도구에서 가까운 미래의 트래픽 상황을 예측하기 위한 핵심 아이디어인 정체기여도 그래프이다[3]. 차량이 교통 관제센터로부터 경로를 안내 받아 경로를 따라 운행할 때 원으로 표시된 각 교차로에 도착하는 시간을  $D_1, D_2, \dots, D_n$ 이라고 하면, 경로에 인접하여 위치한 교차로 사이의 도로의 정체기여도는 수식 1과 같다.

$$C_i = 1 - \frac{D_i}{D}, i = 1, 2, \dots, n \quad \text{수식 1. 정체기여도}$$

## 2. SDN 기반의 네트워크 트래픽 최적화

네트워크도 토폴로지도 패킷이 돌아다니는 일종의 도로의 집합이고, OpenFlow 스위치는 SDN 컨트롤러와 통신하는 교차로이며, SDN 컨트롤러는 OpenFlow 스위치의 통계정보를 기반으로 토폴로지의 글로벌 뷰를 관리하는 교통관제센터이다. 네트워크 토폴로지는 다음과 같이 구성한다. 본 논문에서는 TCP통신만을 고려하고 네트워크 토폴로지는 그림 2와 같이 호스트(host)들과 처음으로 연결된 스위치들이 있는 Edge 계층과 서버(Server)들과 처음으로 연결된 스위치들이 있는 또 다른 Edge 계층 그리고 그 사이 스위치들로 이루어진 계층으로 이루어져있다.

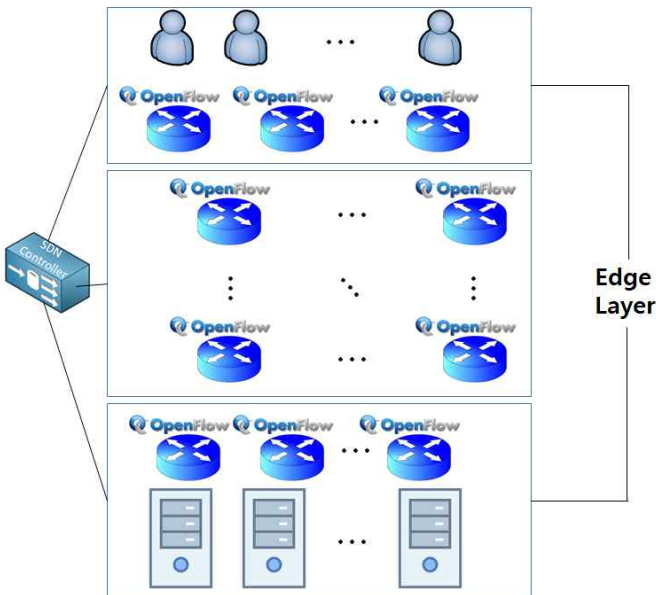


그림 2. 네트워크 토폴로지 구성

위와 같은 네트워크 토폴로지에서 패킷이 차량처럼 SDN 컨트롤러로부터 경로를 직접적으로 안내받지 못하는 문제는 SDN 컨트롤러가 Edge 계층에 있는 스위치를 시작으로 반대편 Edge 계층에 있는 스위치까지 플로우를 설정함으로써 해결가능하다. 하지만 차량이 한 홉(hop)을 이동하는 시간과 패킷이 한 홉을 이동하는 시간을 비교하면 패킷의 이동시간(travel time)이 상대적으로 너무 짧아 SDN 컨트롤러가 스위치로부터 받아 실시간으로 처리해야하는 정체기여도 값이 무수히 많아져 컨트롤러에 부하를 일으키고 지속적인 서비스 제공이 불가능할 수 있다. 따라서 다음과 같은 단계를 거쳐 컨트롤러가 정체기여도 행렬을 관리하여 글로벌 뷰를 얻고 SDN 기반의 네트워크 트래픽 최적화를 이루어내려 한다.

- 1) 새로운 TCP connection이 발생하고 초기 패킷이 Edge 계층에 위치한 스위치에 도착하면 이를 컨트롤러에 알린다.
- 2) 컨트롤러가 관리하는 정체기여도 행렬과 K-최단경로 알고리즘을 사용해 전체 정체기여도가 최소로 증가하는 경로를 찾는다.

- 3) 찾아낸 경로에 위치하는 스위치들에 플로우를 설정한다.
- 4) 패킷이 이동하기 위해 설정한 경로에 해당하는 정체기여도 값을 정체기여도 행렬에 추가한다.
- 5) TCP connection이 유지될 때까지 해당 경로를 따라 패킷이 이동하고 반대편 Edge 계층에 위치한 목적지에 도착한다.
- 6) TCP connection이 끊어지면 컨트롤러에 이를 알리고 컨트롤러는 경로에 해당하는 플로우를 모두 삭제한다.
- 7) 컨트롤러는 경로에 해당하는 정체기여도 값을 정체기여도 행렬에서 뺀다.
- 8) Edge 계층에 위치한 모든 스위치는 1) - 7)을 반복한다.

## III. 결론

본 논문에서는 차량네트워크 분야의 기존 연구를 기반으로 SDN 네트워크상의 트래픽 최적화를 위한 방법을 설명하였다. 본 논문이 기존연구를 재사용하여 제안한 부하분산기법을 통해 SDN 네트워크상의 트래픽 흐름을 향상시킨다는 것의 타당성을 검증하기 위해 향후 연구로 이를 OpenDaylight[5]과 Mininet[6]을 사용하여 구현하려 한다. 또한, 부하분산을 지원하는 네트워크와 지원하지 않는 네트워크가 얼마나 차이가 있는지와 다른 부하분산 방법들과의 성능을 비교하려한다.

## ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구(2016-0-00078, 맞춤형 보안서비스 제공을 위한 클라우드 기반 지능형 보안 기술 개발)이고, 또한 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2018-2017-0-01633).

## 참고 문헌

- [1] ONF, "Software-Defined Networking: The New Norm for Networks", ONF White Paper, April 2012.
- [2] ONF, "Openflow Switch Specification v1.5.1", OpenFlow Specifications, April 2015.
- [3] Jaehoon (Paul) Jeong, Hohyeon Jeong, Eunseok Lee, Tae (Tom) Oh, and David H.C. Du, "SAINT: Self-Adaptive Interactive Navigation Tool for Cloud-Based Vehicular Traffic Optimization", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 65, No. 6, June 2016.
- [4] J. Y. Yen, "Finding the K Shortest Loopless Paths in a Network," Management Science, Vol. 17, No. 11, pp. 712 - 716, July 1971.
- [5] OpenDaylight, "Open Source SDN Platform," accessed 2018. [Online]. Available: <http://www.opendaylight.org/>
- [6] B. Lantz, B. Heller, and N. McKeown, "A Network in a Laptop: Rapid Prototyping for Software-Defined Networks," in Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks. ACM, October 2010.