

SDN/NFV 환경에서 효율적인 서비스 체이닝을 위한 Q-learning기반 트래픽 플로우 분배 기법

김선혁⁰, 홍충선*
경희대학교 컴퓨터공학과
{kshyuk0605, cshong}@khu.ac.kr

Q-learning Based Traffic Flow Distribution Technique for Efficient Service Chaining in SDN/NFV Environment

Seonhyeok Kim⁰, ChoongSeon Hong*
Department of Computer Science and Engineering, Kyung Hee University

요 약

Software Defined Networking(SDN)과 Network Function Virtualization(NFV)기술은 IT 기술의 발전과 더불어 사용자가 요구하는 서비스의 증가로 인한 여러 문제들을 해결하기 위해 등장하였다. 서비스 체이닝은 NFV 기술에서 가상화된 서비스 기능들을 순차적으로 처리 및 전달하는 기술로 SDN과의 결합에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 SDN/NFV 환경에서 효율적인 서비스 체이닝을 제공하기 위해 서비스 기능 수행 시간과 링크의 대역폭을 측정하고 임계값을 기반으로 보상(reward)값을 변경하여 Q-learning기반 트래픽 플로우 분배 기법을 제안하였다. 제안하는 방법을 통해 서비스 노드의 부하 및 트래픽 전송 시간을 감소시켰고 이에 따라 효율적인 서비스 체이닝 환경을 보장하였다.

1. 서 론

클라우드, 모바일, IoT 등 IT 기술의 발전과 더불어 사용자가 요구하는 서비스가 다양해짐에 따라 네트워크 및 서비스 인프라가 복잡해지고 높은 CAPEX(Capital Expenditures) 및 OPEX(Operating Expenditure)를 요구하는 문제가 발생하였다. 이를 해결하기 위해 미래인터넷과 관련하여 다양한 기술들이 개발되었으며, 그 중에서 SDN(Software Defined Networking)과 NFV(Network Function Virtualization)기술이 등장하였다. SDN은 소프트웨어 프로그래밍을 통해 네트워크 경로 설정, 제어 및 관리를 유연하게 처리 할 수 있는 기술이고[1], NFV는 네트워크 장비 내의 여러 기능들을 소프트웨어적으로 분리시켜 제어, 관리가 가능하도록 가상화하는 기술이다[2]. 특히 NFV 기능 중에서 가상화된 서비스 기능들을 순차적으로 처리하는 서비스 체이닝 기술이 높은 관심을 받고 있다.

서비스 체이닝이란 인입되는 트래픽에 따라 다수의 네트워크 서비스 기능들을 하나의 논리적인 체인으로 구성하고 순차적으로 네트워크 트래픽을 처리 및 전달하는 기술이다. 서비스 체이닝 기술의 주요 기능은 트래픽 발생에 따른 트래픽의 서비스 체인 분석 및 판별하는 서비

스 분류자(Service Classifier)와 서비스 체인을 기반으로 유입되는 트래픽을 정해진 서비스 기능 순서대로 전달하는 서비스 기능 전달자(Service Function Forwarder)가 있다[3].

본 논문에서는 SDN/NFV기반 서비스 체이닝 환경에서 파일 전송, 비디오 스트리밍과 같은 수명이 긴 트래픽 플로우로 인하여 발생하는 서비스 기능(Service Function) 인스턴스 및 링크의 오버헤드를 줄이기 위해 Q-learning 기반 트래픽 플로우 분배 방안에 대해 다룬다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 서론으로 본 논문의 전반적인 내용을 다루고, 2장에서는 본 논문에서의 연구와 관련된 내용을 서술할 것이다. 3장에서는 효율적인 서비스 체이닝 방안에 대해서 다루고, 4장에서는 테스트를 통한 성능향상 결과를 보인다. 5장에서는 결론으로 연구 결과 및 향후 연구에 대한 내용으로 논문을 마무리한다.

2. 관련연구

2.1. IETF SFC Long-lived Flow Use Cases

IETF(Internet Engineering Task Force)는 인터넷의 운영, 관리 및 기술적인 쟁점 등을 해결하는 것을 목적으로 TCP/IP 표준 등을 개발하는 표준화 기구이다. IETF SFC(Service Function Chaining) WG(Working Group)에서는 서비스 체이닝 기술에 대한 유즈 케이스를 Internet draft로 문서화하여 정의하는데, 그 중 서비스 체이닝의

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0190-16-2013, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발).

*Dr. CS Hong is the corresponding author

수명이 긴 플로우에 대해 draft-ietf-sfc-long-lived-flow use-cases-03 문서[4]에서 다룬다. 위의 유즈 케이스에서는 파일 전송, 비디오 스트리밍과 같은 수명이 긴 트래픽 플로우의 오버헤드를 줄이기 위해 특정 서비스 기능을 생략하여 처리하고자 한다. 이를 위해 방화벽, 콘텐츠 전달 네트워크, 모바일 환경에서의 IPsec 관리 등의 시나리오에 대해 다루고 수명이 긴 플로우의 식별 방법을 소개한다.

2.2. Q-learning

강화 학습(Reinforcement Learning)은 그림 1과 같이 환경(environment)을 탐색하는 에이전트(agent)가 현재의 상태(state)를 인식하여 특정 액션(action)을 취하고 에이전트(agent)는 환경(environment)으로부터 보상(reward)을 얻게 되는데, 이를 통해 에이전트(agent)의 보상(reward)을 최대화하는 방법을 찾는 과정을 의미한다.

Q-learning은 이러한 강화학습 기술의 일종으로 Markov decision process에 기반을 두어 특정 상태(state) S 에서 최적의 액션(action) A 를 찾기 위해 사용된다 [5]. 결국 Q-learning을 통해 보상(reward) R 을 기반으로 출발지와 도착지 사이에서 최적의 경로를 구할 수 있다. 식 (1)은 Q-learning 알고리즘의 수학적 모델이다 [6].

$$Q(state, action) = R(state, action) + \gamma * \text{Max}[Q(next\ state, all\ actions)] \quad (1)$$



그림 1. 강화학습

3. 제안사항

3.1 Q-learning 기반 트래픽 플로우 분배 기법

본 장에서는 네트워크 환경에서 파일 전송, 비디오 스트리밍 등과 같은 수명이 긴 트래픽 플로우로 인해 발생하는 오버헤드를 감소시켜 효율적인 서비스 체이닝 환경을 제공하기 위한 트래픽 플로우 분배 방법에 대해 서술한다. 제안하는 방법은 서비스 기능의 수행 시간 및 각 링크의 대역폭을 기반으로 오버헤드를 최소화하고 QoS를 보장한다. 링크 대역폭을 기반으로 오버헤드를 예측하기 위해 이전 실험결과[7]를 바탕으로 임계값을 대역폭의 80%로 설정한다. 임계값을 초과하는 경우 보상(R) 값을 변경하고 Q-learning 알고리즘을 통해 서비스 체이닝

경로의 트래픽 플로우를 분배한다. 이러한 분배 기법을 바탕으로 동일한 서비스 기능을 갖는 다른 서비스 노드를 선택하여 서비스 체이닝을 수행할 수 있다.

알고리즘 1은 특정 서비스 기능이 지속적으로 요구되어질 때 Q-learning을 기반으로 다른 경로의 서비스 기능이 수행되도록 트래픽 플로우를 분배하는 알고리즘의 수도코드이다. 알고리즘의 내용을 살펴보면 처음 Q-Matrix값을 0으로 설정하고, 현재 토폴로지 정보를 기반으로 R-Matrix값을 설정한다. 다음으로 임의의 노드 S 를 선택하고 S 에서 액션 가능한 A 를 임의로 선택한다. 그리고 액션 A 가 SFC경로 상에서 수행되어야 할 서비스 기능이 있는 SN(Service Node: 서비스 노드) 또는 도착지인 경우 해당 노드의 서비스 기능 수행 시간과 링크의 대역폭을 측정한다. 만약 정해진 조건을 만족하지 못 할 경우 해당 경로에서는 오버헤드가 발생할 수 있으므로 보상(R) 값을 감소시킨다. 하지만 조건을 만족하지 않는다면 해당경로는 반드시 지나가야하는 경로이므로 보상(R) 값을 증가시킨다.

위 과정을 통해 변경된 보상(R)값을 기반으로 Q-learning 알고리즘에 적용하여 Q-Matrix값을 변경하고, 이를 통해 서비스 노드의 경로를 변경하여 동일한 서비스 기능을 다른 서비스 노드에서 수행되도록 플로우를 분배한다.

알고리즘 1. Q-learning기반 트래픽 플로우 분배 알고리즘

```

1: Q-Matrix ← 0
2: R-Matrix ← Reward(Topology information)
3: while
4:   while ( Iterated n times )
5:     Select a random state S
6:     Find possible actions and Select a random action A
7:     S ⇒ Vsrc, A ⇒ Vdst
8:     if ( Vdst == Next SN || Goal state) then
9:       if ( Process Time > Last Process Time &&
            Observed Bandwidth > Whole Bandwidth * 0.8 ) then
10:        R[Vsrc][Vdst] value is R[Vsrc][Vdst] * 0.5
11:       else
12:        R[Vsrc][Vdst] value is R[Vsrc][Vdst] * 2
13:       endif
14:     else
15:      R[Vsrc][Vdst] value is R[Vsrc][Vdst]
16:     endif
17:     Compute Q-learning Algorithm
18:     Update Q-Matrix
19:   endwhile
20:   Update Route
21: endwhile

```

3.2 트래픽 플로우 분배 시나리오

그림 2는 본 논문에서 제안하는 트래픽 플로우 분배

알고리즘을 테스트하기 위한 서비스 체이닝 환경이 적용된 네트워크 토폴로지를 보여준다. 그림 2에서 Host1의 서비스 체인은 SF1→SF2→SF5로 구성되어 있고, Host2의 서비스 체인은 SF3→SF4→SF5로 구성되어 있다고 가정한다. 여기서 Host1은 대용량 비디오 스트리밍, Host2는 파일 전송 서비스를 제공받으려고 할 때, 기존 네트워크 환경에서는 Host1과 Host2의 트래픽 플로우가 SN1→SN2→SN3경로로 전송된다. 하지만 두 호스트의 트래픽 플로우는 수명이 긴 트래픽 플로우로 트래픽 전송이 완료되기까지 많은 시간이 소요된다. 이러한 경우 링크 대역폭의 오버헤드가 발생하게 되고, 각각의 서비스 기능들이 수행되는 시간이 증가하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 Q-learning 기반 트래픽 플로우 분배 알고리즘을 적용하여 Host2의 SFC 경로를 SN1→SN2→SN6으로 트래픽을 분배하여 SN의 경로를 변경할 수 있고, 이는 대역폭의 오버헤드 감소 및 서비스 체이닝의 QoS를 보장한다.

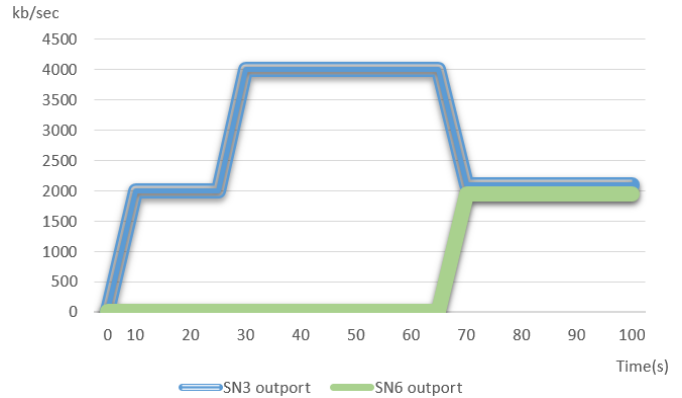


그림 3. 알고리즘 적용에 따른 서비스 노드별 부하 비교

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 서비스 체이닝 기반 네트워크 환경에서 파일 전송, 비디오 스트리밍과 같은 수명이 긴 트래픽 플로우의 경우 발생할 수 있는 대역폭 오버헤드 및 서비스 노드 부하에 따른 서비스 체이닝 시간 지연 문제에 대해 살펴보았다. 이 문제를 해결하기 위해 Q-learning 기반 트래픽 플로우 분배 기법을 제안하였고, 제안된 알고리즘을 통해 수명이 긴 트래픽 플로우에 대한 효율적인 서비스 체이닝 환경을 제공할 수 있었다.

향후 연구에서는 서비스 기능 수행 시간, 링크의 대역폭과 더불어 서비스 체이닝 수행 시간, 서비스 노드 지연 시간 및 서비스 경로 사이의 거리 등을 추가적으로 고려하고, 다양한 환경에서의 시뮬레이션 및 테스트를 통해 더욱 효율적인 알고리즘을 제안 및 검증할 것이다.

참고 문헌

- [1] D. Kreutz, F.M.V. Ramos, P. Esteves Verissimo, C. Esteve Rothenberg, S. Azodolmolky and S. Uhlig, "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey," proceedings of the IEEE, Vol. 103, pp. 14-76, January 2015.
- [2] Yong Li, Feng Zheng, Min Chen and Depeng Jin, "A unified control and optimization framework for dynamical service chaining in software-defined NFV system", IEEE Wireless Communications, Vol. 22, pp. 15-23, December 2015.
- [3] 이승익, 신명기, "서비스 체이닝 기술 및 표준화 동향", 한국통신학회논문지, Vol. 31, pp. 46-51, September 2014.
- [4] R.Krishnan et al., "SFC Long-lived Flow Use Cases", draft-ietf-sfc-long-lived-flow-use-cases-03, February 2015.
- [5] F. Farahnakian, M. Ebrahimi, M. Daneshtalab, P. Liljeberg and J. Plosila, "Q-learning based Congestion-aware Routing Algorithm for On-Chip Network", Networked Embedded Systems for Enterprise Applications(NESEA), pp. 1-7, December 2011.
- [6] "Introduction to the Q-learning", John McCulloch, <http://mnemstudio.org/path-finding-q-learning.htm>
- [7] Seonhyeok Kim, Jaehyeok Son, Ashis Talukder and Choong Seon Hong, "Congestion Prevention Mechanism Based on Q-learning for Efficient Routing", IEEE International Conference on Information Networking (ICOIN), pp. 124-128, January 2016.

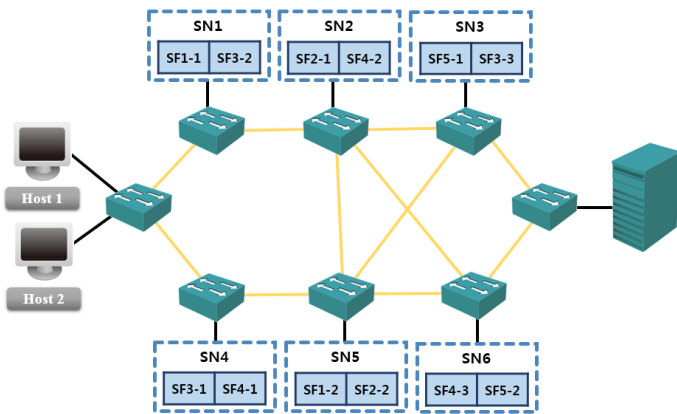


그림 2. 네트워크 토폴로지

4. 성능평가

본 장에서는 제안하는 Q-learning 기반 트래픽 플로우 분배 기법의 효율성을 검증하기 위해 서비스 체인 별 서비스 노드들의 부하를 측정하고 파일 전송 시간을 측정한다. 앞 장에서 언급한 트래픽 플로우 분배 시나리오를 기반으로 Host2의 SFC 경로에서 마지막 서비스 노드 output의 부하를 측정하였고, Host2의 경우 제안하는 알고리즘에 따라 서비스 노드가 SN3에서 SN6으로 변경되었다. 그림 3은 이에 따른 서비스 노드의 부하를 보여주며, 알고리즘 기반 플로우 분배로 인한 서비스 노드의 부하 감소를 보여준다. 그리고 Host1이 스트리밍 서비스를 제공하고 있을 때 Host2 요청에 따라 서버로부터 파일 전송 시간을 측정하였다. 전송되는 파일의 크기가 500MB일 때, 알고리즘이 적용되지 않은 경우 평균 240초의 시간이 소요된 반면 제안하는 알고리즘이 적용된 경우 평균 230초의 시간이 소요되어 전체 전송 시간을 감소시킨 것을 확인할 수 있었다. 두 결과를 통해 제안하는 방법이 서비스 노드의 부하 및 전송 시간 감소를 바탕으로 효율적인 서비스 체이닝 환경을 제공할 수 있다.