

서비스 품질 요구사항이 다른 트래픽 플로우를 위한 네트워크 기능 가상화 조율

서기원, 김요한, 류선열*, 임 혁
광주과학기술원, *국방과학연구소
hlim@gist.ac.kr

Network Function Virtualization Coordination for Traffic Flows with Different Quality of Service Requirement

Giwon Sur, Yohan Kim, Shun Yuel Ryu*, and Hyuk Lim
Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)
*Agency for Defense Development (ADD)

요 약

네트워크 기능 가상화(network function virtualization, NFV)는 네트워크의 기능을 소프트웨어에서 가상화하여 제공하는 기술로써, 서비스의 수요에 따라 가상 네트워크 기능(virtualized network function, VNF)을 동적으로 생성하여 네트워크상에 유연하게 배치할 수 있다. 네트워크상의 데이터 트래픽은 전송속도, 시간지연 등 다양한 서비스 요구사항을 갖고 있기 때문에, NFV를 통하여 네트워크 기능을 제공할 때, 데이터 트래픽의 서비스 요구사항에 따라 VNF를 추가로 생성하거나 기존의 VNF에 대한 트래픽 플로우 매핑을 조율해줄 필요가 있다. 본 논문은 데이터 트래픽의 시간지연 요구사항을 만족하면서 네트워크 기능 서비스 용량을 최대화하는 네트워크 기능 가상화 조율 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 multiple knapsack 기반으로 동작하며 네트워크 플로우의 요구사항에 따라 각 플로우를 서비스할 VNF를 선정하여 준다.

I. 서 론

데이터 네트워크에서 실시간 데이터의 고대역 저지연 전송은 매우 중요한 기술이다. 일반적으로 영상, 음성 등 실시간 데이터는 다양한 전송속도와 QoS (Quality-of-Service) 요구사항을 가지고 있다 [1]. 이러한 실시간 데이터 트래픽에 대해 방화벽, 침입탐지시스템 등의 네트워크 기능을 제공해야하는 경우가 많으며, 예를 들어, 보안과 검증이 필요한 트래픽의 경우 네트워크 방화벽을 통과함으로써 서비스에 대한 보안을 강화할 수 있다. 하지만 다양한 데이터 트래픽들이 동시에 하나의 물리적인 방화벽을 통과하게 될 경우, 각 트래픽의 특성에 맞는 데이터 처리가 불가능하기 때문에 데이터 트래픽의 QoS를 만족시킬 수 없어 사용자가 불편을 느끼는 경우가 발생하게 된다 [2].

하나의 물리적인 네트워크 기능에서 다양한 트래픽들을 처리할 경우 낮아지는 QoS 문제를 네트워크 기능 가상화(Network Function Virtualization, NFV)를 이용하여 데이터 트래픽의 특성에 맞게 효율적으로 처리할 수 있다. NFV는 독점 하드웨어에서 실행되었던 방화벽, load balancer 등의 네트워크 서비스를 가상 네트워크 기능 (Virtualized Network Functions, VNF)으로 구현할 수 있게 하는 기술로, 여러 기능을 하나의 물리적 서버에서 실행할 수 있게 한다 [3, 4]. 따라서 적은 개수의 서버를 이용해 다수 개의 가상화된 VNF를 생성할 수 있으며, 각기 다른 트래픽의 특성에 맞도록 구현된 VNF를 통해 트래픽을 효과적으로 처리할 수 있다. 트래픽 QoS를 고려하여 네트워크 상의 VNF 배치 및 비용을 다루는 연구는 지속적으로 활발히 진행되고 있다 [3, 4].

본 논문에서는 M/D/1 Queueing 모델 네트워크에서 다중 가상 VNF를 고려하여 트래픽의 QoS를 보장하고, 동시에 트래픽 전송속도를 최대화하기 위한 MKP (Multiple Knapsack Problem) 기반 플로우-VNF 매핑 알고리즘을 제안한다.

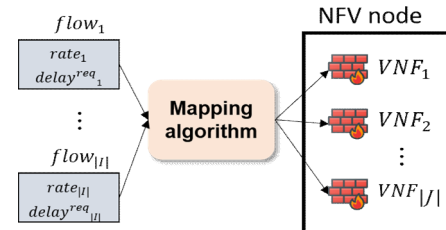


그림 1. 가상화된 네트워크 구조 및 매핑 알고리즘

II. NFV 기반 다중 VNF 시스템

그림 1은 $|I|$ 개의 트래픽 플로우 $I = \{1, \dots, |I|\}$ 가 네트워크 말단에 들어와 VNF 매핑 알고리즘을 통해 QoS 요구사항을 만족시키는 적절한 VNF에 할당되는 시스템을 나타낸다. 플로우의 특성은 전송속도와 지연 요구사항으로 구성되며 각각을 $rate_i$ 와 $delay_i^{req}$ 로 나타내었다. NFV 노드는 단일 서버로 구성하였고 해당 노드에는 총 $|J|$ 개의 VNF $J = \{1, \dots, |J|\}$ 가 존재한다. 본 논문에서는 VNF에 도착하는 트래픽이 Poisson Process를 따르고 시스템의 처리율이 고정되어 있는 M/D/1 Queueing 모델 [5]을 적용하였다. 이때 각 VNF에서 트래픽 플로우의 평균 지연 시간은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$D_{VNF_j} = \frac{\frac{\lambda_j}{\mu_j}}{2\mu_j(1 - \frac{\lambda_j}{\mu_j})} + \frac{1}{\mu_j}. \quad (1)$$

위 식에서 λ_j 와 μ_j 는 각각 VNF j 에 유입되는 플로우들의 전송속도의 합과 VNF j 의 처리율을 나타내며, λ_j 는 μ_j 보다 작은 값을 가진다. 식 (1)에 따라 M/D/1 Queueing 모델은 VNF j 내에 유입되는 플로우 전송속도가 증가할수록 지연이 급격하게 증가하는 특성을 가진다.

III. MKP 기반 VNF 매핑 알고리즘

본 논문은 다양한 전송속도와 지연 요구사항을 가진 플로우를 VNF에 매핑하는 방법을 MKP를 적용하여 제시한다. MKP는 여러 개의 가방에 무게와 이익이 다른 물건을 담아 이익을 최적화하는 방법을 찾는 알고리즘이다 [6]. VNF에 매핑하는 알고리즘은 VNF에 의해서 서비스되는 플로우의 전송속도의 합을 최대화하는 문제로 정리한다. 각 플로우는 하나의 VNF에만 매핑 가능하다. MKP에서는 배낭의 capacity가 고정되어 있다고 가정하는 반면, 본 논문에서는 VNF 내에 플로우들의 매핑에 따라 식 (1)과 같이 동적으로 변하게 되는 점이 다르다. 또한 NFV에 의해 발생하는 시간지연은 각 NFV에 의해 서비스되는 모든 플로우의 시간지연 요구사항보다는 작은 값을 가져야 한다. 따라서 VNF 매핑 최적화 알고리즘은 아래와 같이 표현된다.

$$\max_{\{x_{ji}\}} \sum_{j=1}^{|J|} \sum_{i=1}^{|I|} rate_i x_{ji} \quad (2)$$

$$s.t. \quad D_{VNF_j} \leq \min\{delay_i^{req} | x_{ji} = 1\} \\ \forall j \in J, \forall i \in I. \quad (3)$$

위의 최적화 식은 변수 x_{ji} 를 결정하며 x_{ji} 은 플로우 i 가 j 에 매핑된 경우 1의 값을, 그렇지 않은 경우 0의 값을 갖는다. 식 (3)은 QoS 요구사항이 만족된 플로우만 VNF에 매핑이 가능할 수 있는 조건을 나타낸다. 위의 최적화 문제를 풀기 위하여 탐욕 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 방침에 따라 높은 전송속도를 지닌 플로우에게 우선순위를 주어 플로우 전송속도의 합이 최대가 되도록 매핑을 찾는다.

IV. 실험 및 결과

4.1. 실험 환경

본 논문에서는 VNF 매핑 시스템 및 알고리즘의 성능 평가를 위해 MATLAB 환경에서 알고리즘을 구현하고 실험을 진행하였다. 각 플로우의 전송속도는 $\lambda = 8\text{Mb/s}$ 의 Poisson distribution을 따르며, 시간지연 요구 값은 한 VNF j 내에 유입될 수 있는 플로우 전송속도 λ_j 중 최소 지연과 최대 지연 사이의 값 중에서 uniform distribution에 따라 결정하였다. VNF의 처리율은 VNF 별로 동일하게 30Mb/s 로 설정하였다. $O(M^N)$ 의 높은 시간복잡도로 최적의 결과를 도출하는 Brute force와 $O(N^2)$ 의 시간복잡도로 수행되는 제안된 알고리즘의 비교실험을 위해 플로우가 10개, VNF가 최대 3개인 환경에서 실험을 수행하였고, VNF 개수가 증가함에 따른 Randomization과의 성능 비교를 위해 플로우가 30개, VNF가 최대 10개인 환경에서 실험을 수행하였다.

4.2. 실험 결과

그림 2는 플로우를 처리하는 VNF 개수가 증가함에 따라 QoS 요구사항이 만족되는 플로우 전송속도 합을 나타낸다. 플로우 개수가 10개인 환경에서 Brute force와 비교하였을 때, 제안된 알고리즘은 짧은 수행 시간 내에서 Brute force에 가까운 플로우 전송속도 합을 도출함을 확인하였다. 플로우 개수가 30개인 실험 환경에서 Randomization과 비교하였을 때, VNF 개수가 증가함에 따라 제안된 알고리즘이 더 큰 플로우 전송속도 합을 도출하도록 플로우를 매핑함을 확인하였다.

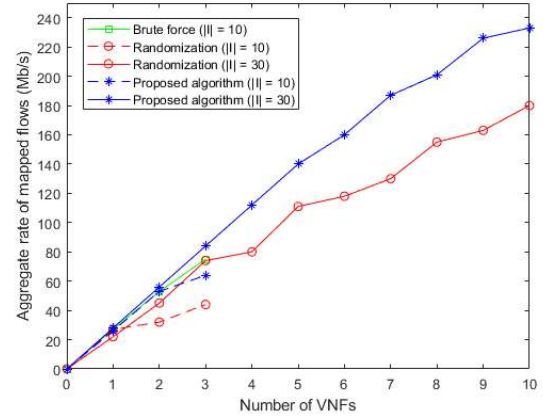


그림 2. VNF 개수에 따른 QoS가 보장된 플로우의 전송속도합의 변화

V. 결론

본 논문에서는 네트워크 기능 가상화가 적용된 다중 VNF 환경에서 서비스 받는 트래픽 플로우의 QoS 요구사항을 고려하여 트래픽과 VNF간의 매핑을 조율하는 MKP 기반의 알고리즘을 제안하였다. NFV 수요가 많은 네트워크 환경에서 VNF의 서비스를 받는 트래픽 플로우와 VNF의 매핑을 효과적으로 조율할 필요가 있다. 제안된 알고리즘은 시간지연 요구사항이 만족되는 트래픽 플로우 중에서 전송속도 합이 최대가 되도록 VNF로 매핑해 네트워크 기능 서비스 용량을 최대화하도록 구현되었다. MATLAB 실험 결과를 통해 제안된 알고리즘이 트래픽 플로우 QoS 요구사항을 높게 만족시킴을 확인하였다. 실제 NFV 환경에서 알고리즘을 적용할 경우, 서비스 QoS 보장이 높은 방향을 제시할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다 (UD190020FD).

참고 문헌

- [1] A. Osseiran, et al., "Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications: The Vision of the METIS Project," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 26-35, 2014.
- [2] A. Ksentini and N. Nikaein, "Toward Enforcing Network Slicing on RAN: Flexibility and Resources Abstraction," IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 6, pp. 102-108, 2017.
- [3] S. Ahvar, et al., "CCVP: Cost-Efficient Centrality-based VNF Placement and Chaining Algorithm for Network Service Provisioning," IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft), 2017.
- [4] P. Cappanera, F. Paganelli, and F. Paradiso, "VNF Placement for Service Chaining in a Distributed Cloud Environment with Multiple Stakeholders," Elsevier Computer Communications, vol. 133, pp. 24-40, 2019.
- [5] R. Cahn, "Wide Area Network Design: Concepts and Tools for Optimization," Morgan Kaufmann, 1998.
- [6] P. Toth and S. Martello, "Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations," Wiley, 1990.