

네트워크기능 가상화 (NFV) 자원할당 (RA) 방식과 연구동향

김현철*, 윤승현**, 전홍석**, 이원혁***

요 약

NFV (Network Function Virtualization)를 통해 네트워크 사업자, 캐리어 등과 같은 업계에서는 NFV가 추구하는 S/W 기반의 장치를 통하여 신규 서비스 제공의 신속성과 네트워크 구축의 유연성 (flexibility)를 향상 시켜 CAPEX/OPEX를 대폭 감소시키고자 하였다. NFV 네트워크를 구축하여 동적인 서비스를 제공하기 위한 가장 중요한 고려사항 중의 하나는 네트워크 서비스의 기본 구성 요소인 리소스 (VNF)들을 적재적소에 동적으로 할당하는 방식을 결정하는 것이다. 본 논문에서는 NFV에서 임의의 NS를 제공하기 위해 필요한 VNF의 노드, 링크 할당 및 노드에서의 스케줄링에 관한 최신 연구 동향을 분석하였다. 또한 본 논문에서는 이러한 연구결과를 기반으로 향후 RA (Resource Allocation)에서 추가적으로 연구해야 하는 스케줄링 문제 또한 제안하였다.

Network function virtualization (NFV) resource allocation (RA) scheme and research trend

Hyuncheol Kim*, Seunghyun Yoon*, Hongseok Jeon**, Wonhyuk Lee***

ABSTRACT

Through the NFV (Network Function Virtualization), companies such as network service providers and carriers have sought to dramatically reduce CAPEX / OPEX by improving the speed of new service provisioning and flexibility of network construction through the S/W-based devices provided by NFV. One of the most important considerations for establishing an NFV network to provide dynamic services is to determine how to dynamically allocate resources (VNFs), the basic building blocks of network services, in the right place. In this paper, we analyzed the latest research trends on VNF node, link allocation, and scheduling in nodes that are required to provide arbitrary NS in NFV framework. In this paper, we also propose VNF scheduling problems that should be studied further in RA (Resource Allocation).

Key words : Network Function Virtualization, Resource Allocation, Virtual Network Function

접수일(2016년 12월 8일), 수정일(2016년 12월 15일),
게재확정일(2016년 12월 29일)

* 남서울대학교 컴퓨터학과 교수
** 한국전자통신연구원(ETRI)
*** 한국과학기술정보연구원 (KISTI), 교신저자

1. 서론

통신 서비스가 발전함에 따라 통신망사업자에게 있어 사용자들의 요구사항을 반영한 새로운 서비스를 지원하는 작업은 매년 신규 네트워크 장비 도입과 물리적인 인프라의 변경으로 인해 근본적으로 막대한 CAPEX (CAPital EXpenditure)/OPEX (OPERating EXpense) 지출을 필요로 하였고 또한 한번 설치된 장비는 쉽게 이동이나 변경할 수 없었기 때문에 신규 서비스 제공의 신속성 (agility) 또한 보장할 수 없었다.

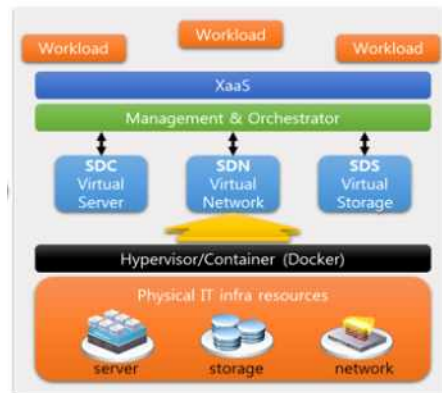
한편 하이퍼바이저 (Hypervisor), 네트워크 및 스토리지 가상화와 같은 가상화 기술의 진화, x86 과 같은 오픈 하드웨어 활용의 증가, 그리고 오픈 스택, 오픈 vSwitch와 같은 오픈 S/W 활용의 확산에 따라 오직 특정 장비에서만 실행되던 트랜스코더, 라우팅, 파이어월과 같은 네트워크 기능 (NFs: Network Functions)들을 블레이드 서버와 같은 일반 고성능 서버에서 실행하는 새로운 네트워크 구조인 NFV (Network Function Virtualization)이 등장하게 되었다. 이를 통해 네트워크 사업자, 캐리어 등과 같은 업계에서는 NFV가 추구하는 S/W 기반의 장치를 통하여 신규 서비스 제공의 신속성과 네트워크 구축의 유연성 (flexibility)를 향상시켜 CAPEX/OPEX를 대폭 감소시키고자 하였다.

NFV 네트워크에서 기존의 특정 네트워크 기능들은 하나의 S/W 모듈로 구현되며, 이를 VNF (Virtual Network Function, 가상 네트워크 기능)라고 한다. 즉 VNF는 기존 네트워크 NF의 가상화된 인스턴스 (instance)이며 VNF를 통하여 네트워크 기능들의 모듈화와 개별화와 더불어 개별적인 관리가 가능하게 되었다. 또한 NFV에서 VNF 들은 범용 서버상에 설치·구축되며 서버간에 동적으로 이동 (migration) 할 수 있기 때문에 VNF는 네트워크의 어느 곳이라도 위치할 수 있다.

따라서 NFV 네트워크를 구축하여 동적인 서

스를 제공하기 위한 가장 중요한 고려사항 중의 하나는 네트워크 서비스의 기본 구성 요소인 리소스 (VNF)들을 적재적소에 동적으로 할당하는 방식을 결정하는 것이다. 이러한 리소스 할당 관련 내용을 NFV 자원할당 (RA: Resource Allocation) 이라고 한다 [1][2][3].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 NFV RA와 관련된 다양한 선행 기술들의 조사 및 분석을 수행하였다. 3장에서는 VNF의 구성과 RA 방식의 최신 동향을 비교 분석하였다. 마지막으로 4장에서는 논문의 결론을 기술하였다.



(그림 1) S/W 정의 기반 가상화

2. 관련연구

2.1 NS와 VNF

기존 네트워크에서 서비스는 데이터 트래픽이 특정 순서로 정렬된 하드웨어들을 순차적으로 지나가게 함으로써 제공되었다. 이처럼 특정 하드웨어 장비들을 선택하고 원하는 형태로 정렬하는 것은 대부분 라우터의 포워딩 엔트리를 설정하는 것과 같이 오류 발생 확률이 높은 수작업으로 이루어졌다. 더군다나 이러한 네트워크 장비들의 물리적인 배치는 시간이나 네트워크의 상황이 바뀔에

따라 그 위치가 바뀌어야 하는 경우가 많이 발생하였지만 쉽게 이동할 수 없는 단점이 있었다.

한편 NFV 인프라에서 어떤 네트워크 서비스 (NS: Network Service)는 연결된 (chained) VNF의 집합이다. 따라서 NFV에서 NS는 다음과 같은 3가지 요소를 정의함으로써 서비스된다 [1][5].

- VNF의 개수
- 체인에서 각 VNF 들의 연결순서
- SN (Substrate Network) 라고 불리는 Network Functions Virtualization Infrastructure (NFVI)에 chain의 할당 (allocation)

따라서 NFV 네트워크 구축에 있어서 가장 중요한 선결문제는 NS를 실행하기 위해 NF들의 신속한, 확장 가능한, 그리고 동적인 구성 (composition)과 할당 (allocation) 이다. 즉 하나의 NS가 여러 VNFs 집합의 병렬 체인으로 구성될 수 있기 때문에 NS 코디네이션 (coordination)을 수행하기 위해서는 ① NS 지원을 위해서 VNFs를 구성하는 방법 ② SN 상에 NS를 구성하고 있는 VNFs 들을 효과적으로 할당하고 스케줄링 하는 방법과 같은 2가지 문제를 해결해야 한다.

(그림 2)에서와 같이 NFV 아키텍처에서 RA를 수행하는 컴포넌트는 오케스트레이터 (Orchestrator)이며 오케스트레이터는 VNFM (VNF Manager)과 VIM (Virtualized Infrastructure Manager)을 통하여 VNFs 들을 관리한다. 오케스트레이터는 모든 조건을 고려하여 VNFs 할당하며 VNFM과 VIM을 통하여 이를 수행한다.

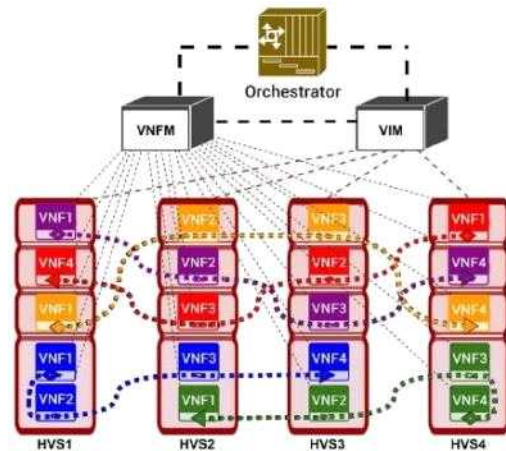
2.2 NFV RA 파라미터

NFV-RA에서 리소스들은 파라미터 형태로 기술되며 이러한 파라미터는 적절한 임베딩 (embedding) 단계를 수행하기 위한 가장 중요한 요소이다. 파라미터들은 여러 단계로 구분이 가능하며 우선 첫 번째 단계로 노드와 링크 파라미터로 구

분된다 [1][2].

노드 파라미터는 노드와 관련된 속성 (attribute)을 나타낸다. 물리적인 노드가 어떤 기능을 수행하느냐에 따라 노드 파라미터는 달라진다. 예를 들어 스토리지 노드는 큰 메모리 리소스를 갖고 있고, 프로세싱 노드는 고성능 CPU를 갖고 있다.

링크 파라미터는 대역폭 (bandwidth)과 전달지연 (propagation delay)과 같은 링크와 관련된 속성을 나타낸다.



(그림 2) 오케스트레이터와 VNF간의 관계 [1]

[1]에서는 VNF 체인을 할당하는 과정에서 지연 (latency), computational 리소스, 데이터 레이트 용량, 데이터 레이트 요구 등과 같은 파라미터를 고려하였다. 또한 CPU와 대역폭 같은 중요한 파라미터도 고려되었다.

[10]에서는 데이터 플레인 지연 (data-plane delay), 데이터센터의 개수와 위치 (number and placement of potential datacenters), 그리고 제어플레인 오버헤드 (control overhead) 등과 같은 파라미터를 고려하여 전달 네트워크 부하 오버헤드를 최소화 하는 알고리즘을 제안하였다.

3. NFV와 보안

NFV RA는 다음과 같이 3단계로 이루어진다 [1].

- ① 서비스 기능 체이닝 (SFC: Service Function Chaining) 으로 알려져 있는 VNFs 체인 구성 (VNFs-CC: Chain Composition)
- ② VNF Forwarding Graph Embedding (VNF-FGE)
- ③ VNFs Scheduling (VNFs-SCH)

3.1 VNFs-CC

ETSI에서는 NS를 정렬된 다수의 VNFs 로 구성된 엔터티로 정의하고 있다. 즉 패킷은 NS를 제공하기 위해 일련의 VNFs 집합을 순서대로 경유해야 한다. 따라서 VNF-CC의 목적은 NS를 서비스하기 위해 어떻게 VNF들을 효과적으로 연결 (concatenate) 할 것인지에 대한 것이다 [7].

VNF-FG 에서 링크에 대한 대역폭 요구나 노드에 대한 처리용량 요구는 가변적이며 VNF의 순서에 의존한다. 이러한 VNF의 순서는 유연하지만 VNFs 간의 디펜던시에 의해 정의된다. 예를 들어 네트워크 플로우에 어떤 VNF 에 도달하기 전에 먼저 특정한 VNFs 집합을 경유해야 한다는 것을 디펜던시를 통해 나타낼 수 있다. 이러한 디펜던시 들을 기반으로 어떤 VNFRs 에 대해서 다수의 체이닝 옵션 (VNF-FGs)이 구해질 수 있다.

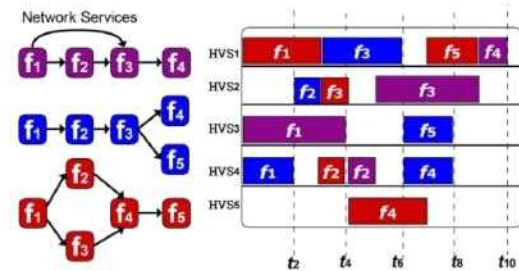
지금까지 대부분의 NFV-RA 연구들은 VNF-FG 자체를 입력으로 간주하고 CC 단계를 생략하였다. 최근 들어 [5]에서는 서비스 체인의 VNF를 구성하는 때 단계에서 동시에 SN에 임베드하는 recursive heuristic 알고리즘을 제안하였다.

3.2 VNF-FGE

VNF-FGE는 NFV-RA의 두 번째 단계이며 여러 NS 요구를 고려하여 적절한 방법으로 네트워크 인프라의 어느 곳에 VNFs 들을 배치할 것인지를 결정하는 것이다. 또한 VNF-FGE에서는 NS의 여러 가지 목적, 예를 들어 나머지 네트워크 자원의 최대화, SN의 전력소비의 최소화, 특정 QoS 매트릭을 위한 최적화 등을 수행하기 위한 자원 최적화도 반드시 수행하여야 한다.

VNE (Virtual Network Embedding)의 가상노드와 가상링크 매핑이라고 하는 2단계 처리방식이 VNF-FGE에도 적용될 수 있다. 특별히 VNF-FGE에서 각각의 VNF는 컴퓨팅, 네트워킹, 그리고 스토리지에 해당하는 타입을 갖고 있으며, 따라서 VNF의 타입과 동일한 타입을 갖는 물리적인 노드에만 할당될 수 있다. 한편 가상링크 매핑 단계에서 임베딩 알고리즘은 VNFs 간의 가상링크를 SN의 패스로 매핑 한다. 단 패스는 하나 이상의 물리적인 링크로 구성될 수 있다 [8][9].

지금까지의 대부분 NFV-RA 솔루션은 VNF-FGE 단계의 해결에 집중하였다. 즉 VNF-FG를 NFV-RA 문제의 입력으로 간주하였다. [8]에서는 여러 NS 요구에 의해 가상자원이 공유될 수 있다는 점에 주목하여 SN을 augment 하는 알고리즘을 제안하였다.

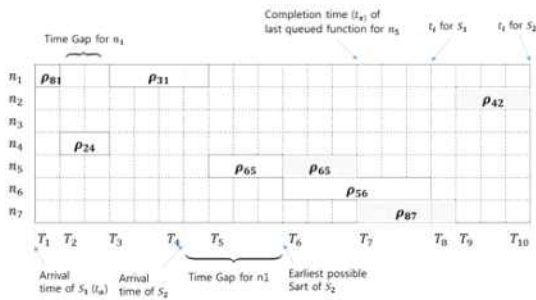


(그림 3) VNF 스케줄링의 예 [1]

3.3 VNF Scheduling (VNF-SCH)

NFV-RA의 마지막 단계는 스케줄링 프로세스이며 VNF 스케줄링이라고도 한다. VNF 스케줄링 단계는 NS를 구성하는 VNF 간의 디펜던시와 프리시던시 (precedences)를 위반하지 않고, 서비스 성능을 저하시키지 않으면서 실행시간을 최소화하는 솔루션을 찾는 것이다. NFV 인프라는 서로 다른 여러 개의 범용 서버들로 구성되어 있기 때문에 VNFs 실행에 대한 적절한 스케줄링은 전체 실행시간을 줄일 수 있다.

아직까지는 VNF-SCH에 대한 연구가 미미한 상태이지만 최근에 [3]에 의해 VNF-FGE와 VNFs-SCH를 결합한 온라인 greedy/metaheuristic 알고리즘을 제안되었다. (그림 3)에서와 같이 이 알고리즘에서는 VNF 매핑과 스케줄링을 동시에 실행함으로써 서비스 수용률을 높이고 임베딩 비용 줄일 수 있었다. 또한 [3]에서 제안한 알고리즘에서는 어떤 하나의 VM이 큐를 이용하여 순차적으로 다수의 VNFs 처리하는 형태이다. 그러나 NFV 표준에서 하나의 VM은 오직 하나의 VNF 만 수행됨을 기본 전제로 하고 있다. 또한 모든 HVS에서 여러 종류의 VNFs를 지원한다는 것과 하나의 VNF에서 어떤 NF를 지원하는 VNFCI 가 하나만 존재한다는 가정 하에 진행되었다.

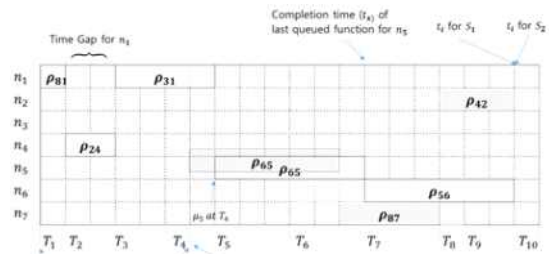


(그림 3) 정적 VNF 스케줄링 [3]

VNF는 하나 이상의 VNFC (VNF Component)로 이루어진다. VNFCI 는 NFVI 가상 컨테이너

인터페이스에 1:1로 맵핑된다. 즉, 각 VNFCI 마다 VM (또는 컨테이너)이 1개씩 할당된다. 또한 VNF의 성능을 향상시키기 위해 2 이상의 VNFC I를 확장할 수 있으며 이를 스케일 아웃 (scale out) 이라고 한다. 따라서 특정 범용서버에서 특정 VNF를 위해 하나 이상의 VNFC들이 존재할 수 있으며 이를 위한 다수의 VMs 들이 존재할 수 있다. 즉 동일한 기능을 제공하는 VNFs 들이 특정 범용서버에서 동시에 수행될 수 있다.

[6]에서는 (그림 4)에서와 같이 스케일 아웃을 통해 하나의 VNF 내에 동일한 기능을 제공하는 하나 이상의 VNFCI 지원하는 알고리즘을 제안하였다. 이 방식은 VNF-FGE와 VNF-SCH를 통합 지원 하는 온라인 RA 알고리즘이며 Multi-tenancy 지원한다. 또한 TE (Traffic engineering) Path를 포함한 광네트워크 토폴로지에서 VM 들 간의 네트워크 거리를 최소화 하는 알고리즘을 제안하였다.



(그림 4) 동적 VNF 스케줄링

이러한 RA 알고리즘을 평가하는 기준은 서비스 수용률 (Acceptance Ratio), 서비스 처리 시간, 서비스 비용 (cost) 등이 있다.

서비스 비용 (C)은 해당 매핑/스케줄링 서비스를 제공하기 위해 소요된 물리적인 네트워크 자원 (시간과 버퍼)의 총 합을 의미하며 (식 1)과 같고 이로 인한 수익 (R)은 (식 2)와 같이 정의할 수

있다..

$$C = \theta \sum_{i=0}^m \delta_i + \rho(t_i - t_a) \quad (\text{식 1})$$

$$R = \sum_{i=0}^m \delta_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \rho_{ij} \quad (\text{식 1})$$

[6]에서 제안하고 있는 알고리즘은 (그림 4)에 서와 같이 [7]에서 제안하는 방식보다 서비스 수 용률 및 서비스 처리 시간에서 최대 30% 이상 개 선된 성능을 보여주고 있으며 따라서 서비스 비용 C 는 최대 40% 이상의 감소를 나타내고 있다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연 구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환 으로 수행하였음. [B0101-16-0233, 스마트 네트워 킹 핵심 기술 개발]

4. 결 론

VNF는 기존 네트워크 NF의 가상화된 인스턴 스 (instance)이며 VNF를 통하여 네트워크 기능 들의 모듈화와 개별화와 더불어 개별적인 관리가 가능하게 되었다. 또한 NFV에서 VNF 들은 범용 서버상에 설치·구축되며 서버간에 동적으로 이동 할 수 있기 때문에 VNF는 네트워크의 어느 곳에 라도 위치할 수 있다. 따라서 NFV 네트워크를 구 축하여 동적인 서비스를 제공하기 위한 가장 중요 한 고려사항 중의 하나는 네트워크 서비스의 기본 구성 요소인 리소스 (VNF)들을 적재적소에 동적 으로 할당하는 방식을 결정하는 것이다.

본 논문에서는 NFV에서 임의의 NS를 제공하 기 위해 필요한 VNF의 노드, 링크 할당 및 노드 에서의 스케줄링에 관한 최신 연구 동향을 분석하 였다. 또한 본 논문에서는 이러한 연구결과를 기 반으로 향후 RA에서 추가적으로 연구해야 하는

스케줄링 문제 또한 제안하였다.

참고문헌

- [1] Juliver Gil Herrera, Juan Felipe Botero, "Resource Allocation in NFV: A Comprehensive Survey," IEEE Transaction on Network and Service Management, Vol. 13, No. 3, pp. 518-532, 2016.
- [2] Hyuncheol Kim, "Network Function Virtualization (NFV) Platform for Wellness in High-Speed Network," Lecture Notes in Electrical Engineering 376, pp. 1459 - 1464, 2016.
- [3] Mijumbi, R., et al., "Network Function Virtualization: State-of-the-art and Research Challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. pp, Issue 99, pp. 1 - 1, 2015.
- [4] J. F. Riera, et al "On the complex scheduling formulation of virtual network functions over optical networks," Int. Conf. Transp. Opt.Netw. (ICTON), pp. 1 - 5, 2014.
- [5] Michael Till Beck, Juan Felipe Botero, "Coordinated Allocation of Service Function Chains," IEEE Global Communications Conference, pp. 1-6, 2015.
- [6] Hyuncheol Kim, et al, "Service Platform and monitoring architecture for network function virtualization (NFV)," Cluster Computing, Vol. 19, Number 4, pp. 1835 - 1841, 2016.
- [7] Rashid Mijumbi, et al., "Design and Evaluation of Algorithms for Mapping and Scheduling of Virtual Network Functions," IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft), pp. 1 - 9, 2015.
- [8] M. F. Bari, et al., "On orchestrating virtual network functions," in Proc. 11th Int. Conf. Netw. Service Manag. (CNSM), pp. 50 - 56. 2015.
- [9] ETSI, "Network Functions Virtualisation (NFV): Virtual Network Functions Architecture," 2014.
- [10] A. Basta, et al, "Applying NFV and SDN to LTE mobile core gateways, the functions placement problem," All Things Cellular Oper. Appl. Challenges, pp. 33 - 38. 2014.

[著 者 紹 介]



김 현 철 (Hyuncheol Kim)
1990년 2월 성균관대학교 학사
1992년 2월 성균관대학교 석사
2005년 8월 성균관대학교 박사
2006년 9월 ~ 현재 남서울대학교
컴퓨터학과 교수
email : hckim@nsu.ac.kr



윤 승 현 (Seunghyun Yoon)
1997년 2월 성균관대학교 박사
1993년 2월 ~ 현재 한국전자통신연
구원 책임연구원
email : shpyoon@etri.re.kr



전 흥 석 (Hongseok Jeon)
2002년 2월 성균관대학교 석사
2004년 2월 한국정보통신대학원 박사
2004년 2월 ~ 현재 한국전자통신연
구원 선임연구원
email : jeonhs@etri.re.k



이 원 혁 (Wonhyuk Lee)
2001년 2월 성균관대학교 학사
2003년 2월 성균관대학교 석사
2010년 8월 성균관대학교 박사
2003년 3월 ~ 현재
한국과학기술정보연구원
선임연구원
email : livezone@kisti.re.kr