

머신러닝 기반의 VNF Live Migration 기술 연구

홍지범*, 이도영*, 최준묵*, 유재형†, 홍원기*

*포항공과대학교 컴퓨터공학과

†포항공과대학교 정보통신대학원

{hosewq, dylee90, juk909090, styoo, jwkhong}@postech.ac.kr

A Study of Machine Learning-based VNF Live Migration Technology

Jibum Hong^{o*}, Doyoung Lee^{*}, Junemuk Choi^{*}, Jae-Hyoung Yoo[†], James Won-Ki Hong^{*}

^{*}Department of Computer Science and Engineering, POSTECH

[†]Graduate School of Information Technology, POSTECH

요약

네트워크 기능 가상화(Network Function Virtualization, NFV)는 서비스 대응 및 트래픽 변화에 유연하고 신속하게 대처하는 환경을 제공함으로써 새롭고 다양한 네트워크 서비스의 요구사항을 만족시킬 수 있다. 하지만 NFV는 물리 자원 위에 수많은 가상 자원을 생성하기 때문에, 이를 위한 관리가 복잡하다는 문제가 있다. 이에 따라 NFV의 주요 관리 기능에 머신러닝(Machine Learning) 혹은 딥러닝(Deep Learning) 기법을 적용하여 NFV 관리에 활용하려는 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 NFV의 주요한 연구 이슈 중 하나인 Live Migration 기능에 초점을 두어 하드웨어 장애, 시스템 과부하, 메모리 부족 등으로 인한 장애가 예측되었을 때 수행되어야 할 선제적(Pro-active) Live Migration 기능을 제안한다. 제안하는 방법은 시스템 단절 시간을 최소화하고 최적 위치에 VNF가 속한 가상 머신을 마이그레이션하기 위해서 강화 학습(Reinforcement Learning) 기법을 활용한다.

I. 서론

기존 네트워크 서비스는 주로 고비용의 전용 네트워크 장비 혹은 미들박스를 통해 제공되기 때문에 새로운 네트워크 서비스를 제공하기 위해서는 물리 네트워크 환경을 변경해야 한다는 단점이 있다. 하지만 새롭고 다양한 서비스에 대한 사용자들의 요구 사항이 증가하면서, 이를 해결하기 위한 방법으로 네트워크 기능 가상화(Network Function Virtualization, NFV)가 제안되었다. NFV는 기존 네트워크의 주요 구성 요소인 미들박스(Middlebox)에서 네트워크 기능을 분리하여 클라우드 환경에서 소프트웨어 형태로 구현하여 제공한다. 즉, 해당 네트워크 기능을 소프트웨어 형태의 가상 네트워크 기능(Virtualized Network Function, VNF)으로 구현하고, 가상 머신(Virtual Machine, VM)과 가상 스토리지 및 가상 네트워크를 이용하여 실행한다. 이를 통해 NFV는 신속하게 사용자의 요구를 충족시킬 수 있으며, 동시에 네트워크 운용 비용 및 장비 투자비(CAPEX/OPEX)를 절감할 수 있다. 또한 서비스 대응 및 트래픽 변화에 유연하고 신속하게 대처하여 서비스의 민첩성을 향상시키는 장점을 가지고 있다 [1].

하지만 기존의 물리적인 하드웨어 기반 네트워크 장치 운용과는 달리, NFV 환경에서는 가상화된 서버와 가상 네트워크 및 스토리지에 기반하여 운용이 이루어지기 때문에 NFV 환경 관리가 복잡해진다는 단점이 있다.

따라서 복잡한 NFV 환경을 효율적으로 관리하기 위한 다양한 기술 연구들이 진행되고 있다 [2]. 최근에는 머신러닝(Machine Learning), 딥러닝(Deep Learning)과 같은 인공지능 기술을 접목하여 NFV 환경을 관리하고, VNF의 성능을 최대화하려는 연구가 시도되고 있다.

본 논문에서는 NFV 환경 관리에 필요한 다양한 기능 중 하나인 Pro-active VNF Live Migration을 제안한다. 제안하는 VNF Live Migration 기능은 NFV 환경 모니터링을 통해 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 기반으로 강화 학습(Reinforcement Learning, RL) 기법을 적용한다. 이를 통해 VNF가 속한 가상 머신이 마이그레이션될 최적의 위치를 찾고 서비스 단절 시간(downtime)을 최소화한다.

II. 관련 연구

마이그레이션은 오류 관리, Load Balancing 및 시스템 유지 및 관리를 위해 서로 다른 물리적인 호스트에서 OS 인스턴스를 이동시키는 것을 의미한다. Live Migration은 OS가 계속 실행되는 동안 마이그레이션을 수행한다 [3]. 이 때, 마이그레이션으로 인해 해당 인스턴스에서 제공하는 기능이 일시적으로 중단될 수 있는데, 이를 서비스 단절 시간으로 정의하며, 이를 최소화하기 위한 연구가 주목을 받고 있다.

대표적인 예로, 클라우드 환경 플랫폼인 OpenStack Nova에서는 가상화 환경에 대해 Live Migration 기능을 제공한다 [4]. 기본적으로 가상 머신의 OS 이미지를 공유하여 메모리만을 다른 호스트로 이동시키는 공유 스토리지 기반 Live Migration을 제공하며, OS 이미지와 메모리를 함께 다른 호스트로 이동시키는 블록 Live Migration도 제공하고 있다. OpenStack은 다양한 이종 환경에서의 컴퓨팅 서비스를 위해 호환성 및 확장성에 강점을 가지고 있지만 가상 머신 인스턴스 생성에 활용되는 하이퍼바이저(hypervisor)의 종류(KVM, Xen 등)에 따라 지원되는 기능이 제약된다는 단점이 있다.

또한 모니터링 된 자원으로부터 머신러닝 기법을 이용하여 기존 마이그레이션 알고리즘들의 total migration time, downtime 등 주요 측정치(metrics)를 예측함으로써 최적의 마이그레이션 알고리즘을 선택하는 기능을 제공한다 [5]. 이를 통해 요구사항에 맞는 최적의 알고리즘을 선택하여 다른 관리 기능과 연동하여 Live Migration 수행하는 것이 가능하다.

이 밖에도 가상 머신 관리를 위한 다양한 상용 솔루션들이 존재한다. 대표적으로는 VMware vMotion, MicroSoft Hyper-V, Xen Motion 등이 있다. 이들은 기본적으로 하드웨어 장애를 탐지한 이후에 자동 또는 수동으로 Live Migration 기능을 제공한다.

III. Pro-active VNF Live Migration 기능

앞서 제시된 Live Migration의 이슈들을 고려하여 NFV 환경에서 각 VNF의 서비스 응답시간, 시스템 부하, 메모리 부족 등의 장애 발생 가능성이 예측되었을 때, 강화 학습을 기반으로 서비스 단절 시간을 최소화하면서 VNF가 속한 가상 머신을 최적의 위치로 마이그레이션하는 제안 모델은 그림 1과 같다.

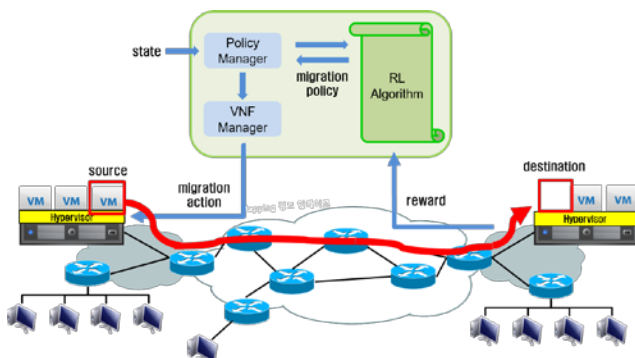


그림 1 Pro-active VNF Live Migration 기능

본 논문에서 제안하는 VNF Live Migration 기능은 우선 현재 VNF가 속한 가상 머신이 운용되는 물리 서버에서 해당 VNF를 위한 요구 사항을 만족시키지 못하는 경우를 예측한다. 이 때, 가상 머신이 마이그레이션될 최적의 위치를 찾고, 해당 위치로 가상 머신을 마이그레이션함으로써 성능을 보장한다. 이를 자동화된 환경에서 수행하여 서비스 단절 시간 등을 고려한 최적의 위치 선정에 강화 학습을 적용한다. 본 논문에서는 강화 학습 적용을 위해 다음과 같이 state, action, reward를 고려한다.

먼저 state는 네트워크 토폴로지 정보, 링크 간 대역폭 및 지연 시간, 각 가상 머신 별 리소스 사용 현황 및 최대 수용량(Capacity), 대상 VNF의 QoS 요구 수준 등으로 정의한다. action은 현재 VNF가 속한 가상 머신의 위치(source)에서 새로운 위치(destination)로

가상 머신을 마이그레이션 하는 것을 의미한다. 마지막으로 reward는 QoS 만족도(packet loss rate) 혹은 서비스 단절 시간(downtime)에 따른 reward 값으로 정의한다. 하드웨어 장애, 시스템 과부하, 메모리 부족 등으로 인한 장애가 예측될 경우, 이러한 요소들을 고려하여 강화 학습 기반 알고리즘 모델을 통해 가상 머신을 마이그레이션할 최적의 위치를 결정한다.

이를 위해 VNF가 동작하는 가상 네트워크의 실시간 상태 정보를 수집해야 하기 때문에, 오픈소스 프로젝트인 OpenStack Ceilometer를 활용한다. 그러나 모니터링 정보를 수집할 때 대량의 정보로 인한 성능 저하 이슈가 발생한다. 이에 가상 머신을 운용하고 있는 물리 머신의 모니터링 네트워크 인터페이스에 DPDK(Data Plane Development Kit) 전용 네트워크 카드를 활용하여, 데이터 수집 속도를 향상시킴으로써 서비스 단절 시간을 감소시킨다. 수집된 state 정보들은 분석에 적합한 형태로 전달하기 위한 전처리 과정을 거치고, 강화 학습 모델에서 결과와 높은 상관도를 보이는 특성을 추출하여 강화 학습 시 발생할 수 있는 노이즈를 제거한다.

IV. 결론

본 논문에서는 NFV 환경에서 강화 학습을 통해 효율적으로 VNF Live Migration을 수행하는 기능을 제안한다. 제안하는 방법은 서비스 단절 시간을 최소화하며, VNF가 속한 가상 머신을 최적의 위치로 마이그레이션한다. 향후 연구로는 서비스 단절 시간을 최소화하기 위한 최적의 강화 학습 알고리즘을 개발하고, 실제 실험 환경에서 구현하여 그 성능을 검증한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원(No.2015-0-00575, 글로벌 SDN/NFV 공개 소프트웨어 핵심 모듈/기능 개발)을 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] R. Mijumbi, J. Serrat, J. L. Gorricho, N. Bouten, F. D. Turck, and R. Boutaba, "Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges," IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 18, no. 1, pp. 236–262, Firstquarter 2016.
- [2] IRTF Network Function Virtualization Research Group, "Areas of Interest," 2018, (<https://irtf.org/nfvrg>).
- [3] C. Clark, K. Fraser, S. Hand, J. G. Hansen, E. Jul, C. Limpach, I. Pratt, and A. Warfield. "Live Migration of Virtual Machines". In 2nd Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI), USENIX, May 2005.
- [4] OpenStack Nova Document (<https://docs.openstack.org/nova/latest>)
- [5] C. Jo, Y. Cho, B. Egger, "A Machine Learning Approach to Live Migration Modelling", 2017 Symposium on Cloud Computing, pp. 351–364, 2017.