www.osia.or.kr

OSIA S&TR Journal

ISSN 1738-9887 Vol. 31, No. 4, December 2018
• 발행인 : 정성호 회장/OSIA • 편집위원 : 신명기 실장/ETRI

02 Editorial
네트워크 자동화 및 지능화 기술 특집
신명기 실장/ETRI

Article
04 5G 네트워크 자동화를 위한 NWDAF 표준화 현황
이수환 선임/ETRI
11 머신러닝 기반 SDN/NFV 자동화 기술 연구 동향
박형곤 교수/이화여대
17 ONAP 기술 동향
김주현 책임/삼성전자
21 ETSI Zero-touch Network & Service Management 표준기술
이종화 책임/ETRI
26 5G 가상화와 통합 자동 제어 체계 전망
김은도 전임/KT
31 KREONET-S의 SDN 기반 지능기술 구축개발현황 및 계획
김동균 책임/KISTI

(사)한국컴퓨터통신연구회
Open Standards and ICT Association

네트워크 자동화 및 지능화 기술 특집



ETRI 표준연구본부
네트워크표준연구실장
신 명 기

5G와 인공지능의 발전으로 네트워크 관리/응용 기술에도 새로운 변화가 시작됐다. 그간 네트워크는 수동적인 설정과 제어를 통한 운영방식에 의존해왔으나, 이제는 스스로 데이터를 분석하고 의사결정을 내리는 네트워크 자동화 및 지능화 기술을 통해 최적의 상태로 자동 제어와 관리가 가능해진 것이다.

네트워크 자동화, 지능화 기술이란 네트워크로부터 수집된 데이터의 분석 혹은 머신러닝과 같은 인공지능 기술을 이용한 폐쇄형 반복 제어 (Closed-loop control) 등 자율의사/정책 결정방식 등을 통해 네트워크 및 하부의 물리 및 가상 자원 들을 자동적으로 설정, 제어, 관리 및 오케스트레이션 등이 가능하도록 하는 기술들을 말한다. 여기에서 폐쇄형 반복 제어란 데이터의 자동 수집, 머신러닝과 같은 인공지능 기술을 이용한 데이터 분석, 분석된 결과를 통한 자율 의사 결정을 통한 피드백 등 일련의 절차 등을 반복함으로써 자동적으로 네트워크가 최적의 상태로 제어 및 관리될 수 있도록 하는 것을 의미한다. 즉, 자동화되고 지능화된 네트워크는 네트워크 상태 정보나 실시간 이벤트, 로그와 같은 스토리지 데이터 등은 자동으로 수집된 후, 빅데이터 분석 방법이나 머신러닝과 같은 인공지능 방법을 이용한 분석을 통해 최적의 의사 결정 및 정책을 만들어 내며, 이러한 결정 및 정책들이 기존 OAM과 SDN 제어기, 오케스트레이터 등을 통해 네트워크 내 물리 자원과 가상 자원들에게 실시간 반영될 수 있는 구조를 가진다.

네트워크 자동화, 지능화 기술의 표준화를 위해서는 최근 유럽표준화기구인 ETSI 산하의 ISG 그룹으로 ENI (Experiential Network Intelligence), ZSM (Zeto-touch network and Service Management) 등이 새로 신설되어 활발한 활동을 진행하고 있으며, ITU-T에서도 새로운 포커스그룹으로 ML5G (Machine Learning for Future Networks including 5G) 그룹이 활발한 논의를 진행하고 있다. 또한 이동통신 시스템을 표준화하는 표준화단체인 3GPP에서는 5G 네트워크 자동화 및 지능화를 위해 5G 시스템내의 새로운 표준기능으로 NWDAF (Network Analytics Function)을 정의하고 규격 개발을 진행하는 등 대부분의 네트워크 관련한 표준화기구에서 이와 관련한 적극적인 표준화 작업을 진행하고 있다.

네트워크에 자동화, 지능화 기술이 도입되면, 통신사업자망은 특정 벤더에 종속적인 하드웨어 장비 내 수동적인 방식의 운용/관리 기법을 탈피하여 인공지능 기반의 표준형 소프트웨어 운용 방식으로 전환되게 된다. 또한 다양한 정형 혹은 비정형 유형을 포함하는 다량의 데이터의 분석을 통해 네트워크 및 IT 자원의 상태를 항시 최적으로 유지하게 되어 통신사업자들은 OPEX를 절감할 수 있는 동시에 새로운 신규 비즈니스의 발굴도 쉽게 가능하게 될 것을 보인다. 특히 인공지능 기술의 한 분야인 머신러닝 방법은 과거의 결과뿐 아니라 앞으로의 행동을 예측하고 스스로 판단하도록 할 수 있다는 점에서 빅데이터 기술에서 한 단계 진화한 기술로 평가받고 있으며 네트워크 등 다양한 분야에서 적용 활용되어 광범위하게 활용 될 것으로 기대된다.

이러한 관점으로 네트워크 자동화 및 지능화 기술 특집호에서는 5세대 이동통신을 위해 제안된 NWADF 기능을 살펴보고, 네트워크를 위한 인공지능 기술과 머신러닝 알고리즘 등을 분석하여 소개한다. 또한 이를 위한 리눅스 재단 산하의 대표적인 오프소스 프로젝트인 ONAP (Open Network Automation Platform)을 소개하며, ETSI 산하의 표준화 활동으로 ZSM 표준화그룹의 표준개발 현황을 알아본다. 마지막으로는 네트워크 자동화 및 지능화 기술이 적용될 통신사업자 망과 연구망에 대한 현황 및 계획 등을 논의한다. 이번 OSIA S&TR 저널의 2018년 12월호에 네트워크 자동화 및 지능화 기술 관련한 훌륭한 원고들을 제출하여 주신 모든 저자분들에게 진심으로 감사드리며, 끝으로 현재 네트워크 자동화 및 지능화 관련 기술을 연구하거나 현업에 도입하려는 학계 및 산업계 분들에게 본 호가 많은 도움이 되기를 기대한다.

5G 네트워크 자동화를 위한 NWDAF 표준화 현황

이수환
ETRI

Abstract

5세대 이동통신의 서비스 별 다양한 요구사항은 통신사업자와 망 장비 업체들에게 맞춤형 서비스를 요구하고 있으며, 이는 통신사업자로 하여금 망 관리 및 자원 운영의 복잡성과 비용을 더욱 높이고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 3GPP에서는 2018년부터 빅데이터를 바탕으로 인공지능을 활용하여 망 관리와 자원 운영의 효율성을 높이는 기능(NWDAF)에 대한 표준화를 진행중이다. 본 고에서는 3GPP SA WG2 에서 표준 개발을 진행 중인 빅데이터 기반 네트워크 분석 기능인 NWDAF의 주요 표준화 이슈에 대한 분석 및 현황, 향 후 전망을 소개한다.

I. 서론

5세대 이동통신 기술은 4세대 이동통신의 대표 서비스인 사용자 기반 통신 및 인터넷 서비스를 포함하여 VR/AR, 5K와 같이 더 넓은 대역을 요구하는 미디어서비스와 신뢰성 및 저지연을 강조하는 공장 자동화 망, 차량간 통신, 사물 인터넷, e헬스케어, 엔터프라이즈 망 등의 다양한 서비스를 수용하는 것을 목표로 하고 있다[1]. 다양한 서비스의 수용을 위해 5G 네트워크 기술은 각 서비스의 요구사항에 따라 단대단(End-to-End)으로 다양한 서비스 품질을 사용자에게 제공할 수 있어야 하며, 이를 위해 통신사업자들에게 4세대 LTE보다 더욱 심화된 고도화 된 망 관리 및 자원 운영 기술이 요구되고 있다.

이러한 이해를 바탕으로 3GPP SA WG2에서는 통신사업자의 고도화된 망 관리 및 자원 운영을 돕기 위해 2017년 12월 5G Phase 1 (Release 15) stage-2 규격[2-4]을 최초 발간하며, 네트워크 데이터 분석 기능(NWDAF)을 5G 코어 네트워크의 제어 기능(control function)으로 정의하였고, 해당 기능을 통해 5G 코어 네트워크의 제어 신호를 수집/분석하고, 머신러닝 기법을 적용하여 망 관리 및 자원 운영의 자동화를 꾀할 수 있는 가능성을 열어두었다. 그 후, NWDAF의 구체적인 유즈케이스와 기능 및 프레임워크에 대한 논의는 2018년 1월부터 시작된 5G Phase 2 (Release 16) stage-2 스터디 작업을 통해 이루어졌고, 2018년 12월 NWDAF 기능에 대한 기술보고서 FS_eNA[5]를 최종 개발 완료함으로써 5G Phase 2에서 규격화 될 NWDAF의 기능을 합의하였다. 아울러, 완료된 기술보고서를 바탕으로 2019년 1월부터 시작되는 5G Phase 2의 표준 규격에 합의된 NWDAF의 유즈케이스 및 기능들에 대한 규격 작업(eNA)을 시작할 예정이다.

본 고에서는 3GPP SA WG2 에서 개발한 NWDAF의 기술 보고서인 TR 23.791[5] 문서를 통해 주요 표준화 이슈에 대한 분석 및 향후 전망에 대해 아래와 같이 소개하고자 한다.

먼저, II 장에서 5G 네트워크 NWDAF 규격 배경을 통해 3GPP에서 eNA문서를 통해 NWDAF 표준 기능을 정의하게 된 배경을 간략히 설명하고, III 장에서 NWDAF의 구체적인 표준화 범위 및 3GPP에서 정의한 NWDAF의 주요 유즈케이스들을 소개한다. IV 장에서 NWDAF의 일반적인 프레임워크를 소개와 함께, 각 유즈케이스를 위한 5G NWDAF의 구체적인 기능을 요약한 후, 마지막으로 V장에서 끝맺음을 지으며 NWDAF를 위한 표준 규격의 일정과 주요 표준 이슈들을 간략히 요약하고자 한다.

II. 3GPP NWDAF 표준화 배경

본 장에서는 3GPP에서 정의한 5G 코어네트워크의 기술적 특징과 제공하는 서비스들을 통신사업자의 망 제어 및 관리, 운영 측면에서 간략히 살펴보고, 이를 통해 3GPP SA WG2에서 NWDAF 기능을 도입하고, 표준화를 논의하게 된 배경에 대해 설명한다.

먼저, 5G 시스템의 기술적 특징을 요약하면 다음과 같다. 5G 시스템에서는 단일 코어 네트워크가 다양한 액세스(5G New Radio, LTE 기지국, Non-3GPP 액세스)들을 모두 동일한 인터페이스 및 구조를 통해서 수용하는 통합 시스템 구조로 정의하여 일원화된 망 관리, 자원 운영 및 단대단 서비스의 품질관리가 가능하게 되었다.

하지만, 5G 시스템에서 제공하는 서비스들의 특징은 통신사업자의 망 제어 관리 운영을 복잡하게 만든다. 구체적으로 5G 시스템에서 새롭게 도입된 네트워크 슬라이스 기능을 제공하기 위해서는 물리적으로 단일한 네트워크를 논리적으로 분리하여 다수의 독립된 네트워크로 제공 할 수 있어야할 뿐만 아니라, 개별 슬라이스 및 통합된 슬라이스 모두에 대해 통신사업자가 망을 제어 및 관리 운영해야하기 때문에 복잡성이 크게 증가한다. 아울러, 5G 시스템에서 제공하는 다양한 요구사항을 갖는 다양한 서비스들(보이스, 인터넷 서비스, 차량망, 사물인터넷 망, 원격의료 망, 공장 자동화 망, 고용량 멀티미디어 등) 역시 망 제어 및 관리 운영을 어렵게 만든다. 따라서, 5G 시스템의 상용화를 위해 통신사업자에게 망 제어 및 관리, 망 자원 운영의 고도화는 필수적이다.

이러한 5G 네트워크의 요구사항은 통신사업자로 하여금 그동안 운용 관리자들에 의해 수동적인 설정 및 제어로 매뉴얼하게 관리되던 망 제어 및 운용, 관리 방식에서 벗어난 전혀 새로운 방식의 망 제어 및 운용, 관리를 요구하고 있으며, 최근 통신사업자를 중심으로 5G 망 제어 및 운용, 관리를 인공지능 기술 기반으로 자율 의사 결정 방법에 따라 완전 자동화 방식으로 변화 시키고자하는 기술 개발 및 표준 개발이 다각도로 진행되고 있는 상황이다.

그 하나의 방편으로 3GPP SA WG2에서는 통신사업자를 중심으로 5G 코어 네트워크 제어 플래인(control plane)의 네트워크 기능 중 하나인 네트워크 데이터 분석 기능인 NWDAF 표준화 작업이 빠르게 진행중이며, NWDAF를 통해 네트워크 데이터를 수집하고, 수집된 네트워크 데이터를 바탕으로 머신 러닝과 같은 지능 기술을 통해 데이터를 분석하여 분석된 값을 5G 코어 각 네트워크 기능들에 제공하여 각 네트워크 기능의 최적화 및 성능 향상을 꾀하고 있다.

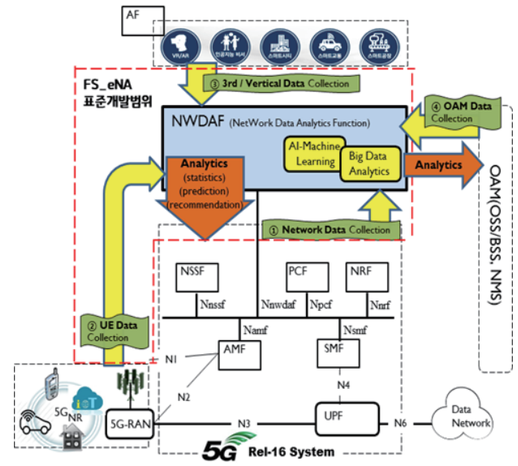
구체적으로 NWDAF는 2017년에 완성된 5G Phase 1 규격에서 네트워크 슬라이스 선택을 돕기 위한 각 종 네트워크 데이터를 수집 및 분석하는 기능으로 처음 규격화 되었고, 2018년부터 시작된 5G Phase 2 스터디 단계에서는 NWDAF의 유즈케이스를 네트워크 슬라이스 선택에 국한하지 말고, 네트워크 지능 기술이 필요한 5G 전반의 영역으로 기능을 확장하자는 요구가 화웨이를 비롯 다수의 통신사업자들로부터 있었고, 해당 요구가 3GPP 회원사들의 동의를 얻어 FS_eNA(Study of enablers for network automation for 5G)라는 신규 기술보고서(TR 23.791)를 통해 NWDAF의 본격적인 기능에 대한 논의가 진행되었고, 해당 기술보고서를 성공적으로 완성하여 2019년 1월부터 합의된 사항들에 대한 5G Phase 2 규격화 작업이 진행될 예정이다.

III. 3GPP NWDAF 표준화 범위 및 유즈케이스

본 장에서는 먼저, 3GPP SA WG2에서 FS_eNA 기술보고서를 통해 논의한 NWDAF의 표준 규격화 범위를 소개하고, 3GPP에서 기술보고서 단계에서 제시한 NWDAF의 구체적인 유즈케이스와 키이슈들을 간략히 요약하고, 기술보고서를 완성하며 합의한 5G Phase 2 표준규격으로 최종적으로 표준화 하기로 한 유즈케이스 및 키이슈들에 대해 요약한다.

3.1 3GPP NWDAF 표준화 범위

NWDAF의 표준 기능 및 프레임워크을 다루는 FS_eNA 기술보고서의 연구 범위를 간략히 요약하면 아래 그림1과 같다.



〈그림 1. 3GPP NWDAF 기능 관련 eNA 표준의 범위〉

구체적으로 FS_eNA 기술보고서의 목적은 5G Phase 1에서 정한 코어 네트워크 기능들을 향상시키기 위해 NWDAF를 활용하는 것으로, 이를 위해 1) NWDAF가 5G 각 코어 네트워크 기능 및 5G 오케스트레이션 매니지먼트(OAM)로부터 필요한 데이터를 수집하는 방법, 2) NWDAF에서 생성한 분석 및 통계 등의 결과를 필요한 5G 코어 네트워크 기능 및 오케스트레이션 매니지먼트에 전달하는 방법에 대한 연구로 그 범주가 한정 된다.

아울러, FS_eNA에서 논의된 NWDAF의 표준 제약사항으로는 다음과 같은 것들이 있다.

첫째, 현 단계에서는 5G 코어 네트워크 기능들의 성능 향상을 위해 각 코어 네트워크 기능에서 NWDAF의 통계 결과를 보조적으로 활용하는 것을 허용할 뿐, NWDAF가 각 코어 네트워크 기능을 대신 하는 것은 허용하지 않는다. 이는 FS_

eNA 연구 결과로 인해 5G 코어 네트워크 기능들의 고유 기능을 NWDAF가 모두 대체하는 것을 막기 위함으로 장비업체들의 요구사항이 반영되었다.

둘째, 현 단계에서 RAN(Radio Access Network) 데이터 수집은 RAN 고유의 영역으로 NWDAF를 통해 할 수 없으며, 반대로 RAN이 NWDAF의 분석 결과를 필요로 할 경우, 서비스 인터페이스를 통해 전달될 수 있다. 이는 RAN3 워킹 그룹에서 연구 중인 TR 37.816(Study on RAN-centric Data Collection and Utilization for NR)과 표준 범주가 겹치는 것을 방지하기 위함으로 해당 기술보고서에서 NWDAF의 분석 결과의 사용 여부가 결정될 예정이다.

마지막으로, OAM과 NWDAF간 데이터 수집 및 분석 결과 전달에 대한 제약사항으로는 NWDAF는 3GPP SA WG5에서 정한 인터페이스와 방법을 통해 데이터를 수집하고, NWDAF의 슬라이스 분석정보들에 대해서 OAM에 NWDAF의 분석결과를 전달할 수 있다. 이와 관련하여 현재 3GPP SA WG5 에서는 SON_5G(Study on Self-Organizing Networks for 5G networks)라는 새로운 연구 아이템이 승인되었으며, 해당 연구 아이템을 통해 3GPP WG SA5 에서 필요로 하는 NWDAF와의 유즈케이스와 인터페이스가 추가적으로 결정될 예정이다.

따라서, 위에서 기술한 표준화 범위 및 제약사항을 고려하면 NWDAF와는 관련된 규격은 위의 그림1과 같이 노란 화살표와 빨간 화살표로 표시된 NWDAF의 데이터 수집 방법과 NWDAF의 분석정보 전달 방법으로 요약된다.

3.2 3GPP NWDAF 유즈케이스

FS_eNA 기술보고서에서 표준적으로 정의하고 있는 NWDAF의 유즈케이스는 그 목적에 따라 1) 종단간 서비스 품질 향상을 위한 NWDAF 기능, 2) 5G 코어 네트워크 기능의 성능 향상 및 부하 분산을 위한 NWDAF 기능, 3) 기타 NWDAF 기능으로 구분할 수 있다.

첫 번째로, 단대단 서비스 품질 향상을 위한 NWDAF 유즈케이스로는 응 서비스 품질 수집/예측, QoS 프로비저닝/조정이 있으며 해당 유즈케이스들의 구체적인 설명은 아래 표 1과 같다. 단대단 서비스 품질 향상에 대한 유즈케이스는 통신사업자와 중국 망 장비 회사들을 중심으로 솔루션에 대한 논의가 활발히 이루어졌다.

표 1 단대단 서비스 품질 향상을 위한 NWDAF 유즈케이스

유즈케이스	설 명
서비스 품질 수집/예측	응용(Application Function)으로부터 서비스 품질에 대한 온라인/오프라인 피드백을 받아 해당 응용 제공업체와 통신 사업자가 맺은 서비스 수준 협약(SLA: Service Level Agreement)에 맞는 단대단 서비스 품질을 NWDAF를 통해 예측하고 보장하는 것을 목표로 함.
QoS 프로비저닝/조정	단대단 서비스 품질을 보장하기 위해 각 서비스에 맞는 비표준 5G QoS를 NWDAF 분석을 통해 설정 및 제공하는 것을 목표로 함.

두 번째로, 5G 코어 네트워크 기능의 성능 향상 및 부하 분산을 위한 NWDAF 기능의 유즈케이스로는 트래픽 핸들링, 엣지 컴퓨팅, 이동성 관리, 백그라운드 전송에 대한 정책 관리, 네트워크 기능 부하 조정, 사용자 데이터 분석을 통한 슬라이스 선택이 있으며, 각 유즈케이스에 대한 구체적인 설명은 아래 표 2와 같다.

표 2 5G 코어 네트워크 기능의 성능 향상 및 부하 분산을 위한 NWDAF 유즈케이스

유즈케이스	설 명
트래픽 핸들링, 엣지 컴퓨팅	NWDAF를 통해 3GPP 망의 적절한 데이터 경로 및 게이트웨이를 선택하는 것을 목표로 함
이동성 관리	AMF(Access and mobility Management Function) 기능을 돕기 위해 등록 영역(Registration area) 설정 및 관리, 페이징 영역 관리, 단말 이동성 패턴 파악 등을 NWDAF의 분석 기능을 통해 제공하는 것을 목표로 함
백그라운드 데이터 전송에 대한 정책 관리	NWDAF를 통해 네트워크의 부하 및 성능을 파악하여 네트워크 기능의 부하 분산이나 백그라운드 전송의 정책을 효율적으로 결정하는 것을 목표로 함
네트워크 기능 부하 조정	
사용자 데이터 분석을 통한 슬라이스 선택	다양한 위치에서 사용자가 겪는 슬라이스의 품질을 NWDAF가 모아 각 슬라이스의 각 위치에 대한 품질 통계 등을 NSSF (Network Slice Selection Function) 제공하여 슬라이스 선택을 효율적 하는 것을 목표로 함

마지막으로 기타 NWDAF의 유즈케이스로는 대규모 IoT 단말 감시 및 성능 향상, 네트워크 공격 방지, 차량 망을 위한 네트워크 성능 예측이 있으며 각 유즈케이스에 대한 자세한 설명은 아래 표 3과 같다.

표 3 기타 NWDAF의 유즈케이스

유즈 케이스	설 명
대규모 IoT 단말 감시 및 성능 향상	IoT 단말에 대한 데이터를 NWDAF를 통해 모으고, NWDAF의 분석을 통해 대규모 IoT 서비스가 요구하는 다양한 성능을 만족시키고, IoT 단말의 오작동 여부를 감독하는 것을 목표로 함
네트워크 공격 방지	NWDAF가 데이터 플래인(Data Plane)의 데이터 정보를 바탕으로 네트워크의 공격을 감지 및 분석하는 것으로 목표로 함
차량 망을 위한 네트워크 성능 예측	3GPP 망에서 제공하는 정보를 이용하여 차량 자율 주행이 이루어지는 상황에서 NWDAF의 분석정보를 통해 3GPP 망의 성능을 예측하고, 만약, 차량 자율 주행에 필요한 서비스 품질을 3GPP 망에서 제공하지 못할 것으로 판단되는 경우, 차량 자율 주행을 멈추는 것을 목표로 함.
네트워크 상태 노스바운드 개방	이전 SCEF에서 제공하던 3GPP 네트워크 상태 개방를 확장하여 NWDAF에서 수집된 빅데이터를 바탕으로 네트워크 상태를 노스바운드로 개방하는 것을 목표로 함.

위에서 언급한 유즈케이스들을 해결하기 위해 FS_eNA 기술보고서에서는 각 유즈케이스를 해결하기 위해 요구되는 주요 키 이슈들을 정의하였고, 정의된 주요 키 이슈는 주로 NWDAF에서 각 유즈케이스를 위해 어떤 데이터를 어떻게 수집할 것이며, NWDAF에서 제공하는 분석 결과는 무엇이며, 분석 결과를 어떻게 필요한 네트워크 기능에 전달할 것인가로 요약된다.

2018년 12월 3GPP SA WG2 에서는 FS_eNA 기술보고서를 완료하면서 위의 언급된 유즈케이스 중 5G Phase 2 (Release 16)규격에서 다룰 유즈케이스 및 키이슈를 정하고, 남겨진 유즈케이스는 Release 17 혹은 그 이후로 규격화 작업을 미루기로 합의하였다. 합의한 사항에 따르면 5G Phase 2 표준 규격으로 다룰 유즈케이스 및 키이슈는 다음과 같다.

- 서비스 품질 수집 및 예측 (NWDAF의 네트워크 데이터 수집 및 분석정보 전달 프레임워크)
- QoS 프로비저닝/조정
- 트래픽 핸들링 및 엣지 컴퓨팅
- 백그라운드 데이터 전송에 대한 정책 관리
- 대규모 IoT 단말 감시 및 성능 향상
- 이동성 관리
- 네트워크 상태 노스바운드 개방

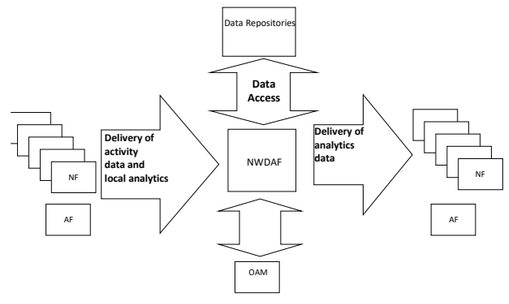
위의 언급된 유즈케이스 외의 다른 유즈케이스들에 대해서는 필요성에 대해서는 대부분 공감하나 3GPP 참여 회원사들의 이해관계가 서로 대립하여 짧은 스터디 기간 동안 합의할 수 있는 솔루션을 도출할 수 없었고, 결과적으로 표준 규격 작업을 Release 17 이후로 미루게 되었다.

Ⅳ. 5G NWDAF의 프레임워크 및 주요 기능

본 장에서는 3GPP SA WG2의 eNA 기술보고서 작성 과정에서 논의된 3GPP의 주요 기술 이슈들에 대해 소개하고, 결론으로 합의되어 5G Phase 2 규격 작업에서 논의될 NWDAF의 프레임워크와 주요 기능들에 대해 유즈케이스 및 키이슈 별로 요약하고자 한다.

4.1 5G NWDAF 프레임워크

3GPP SA WG2에서는 FS_eNA 기술보고서를 작성하며 NWDAF의 기능의 동작의 핵심이 되는 기본 프레임워크를 잡는 것을 최우선으로 작업하였고, 합의한 NWDAF의 기본 프레임워크는 아래 그림2와 같이 요약된다.

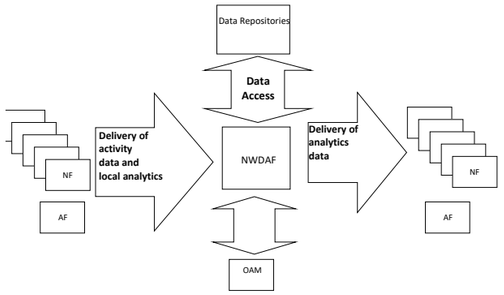


〈그림 2. 5G 네트워크 자동화를 위한 NWDAF의 기본 프레임워크[5]〉

위의 그림 2에서 묘사하듯이 NWDAF는 5G 네트워크의 기본 프레임워크는 응용 기능(AF) 각 네트워크 기능(NF)들로부터 네트워크 데이터 및 각 네트워크 기능의 지엽적인 분석정보를 5G의 서비스 기반 인터페이스(service based interface)를 통해 수집하는 동시에 필요시 UDR과 같은 데이터 저장소와 5G 오케스트레이션 매니지먼트로 네트워크 데이터를 수집하여 5G 네트워크에 대한 빅데이터를 형성하고, 빅데이터를 분석/가공한 정보를 필요한 네트워크 기능 및 응용 기능에 서비스 기반 인터페이스를 통해 전달하는 것이다.

NWDAF의 프레임워크를 지원하기 위해 FS_eNA 기술보고서에서 합의된 사항은 다음 3가지로 요약된다. 1) NWDAF가 각 네트워크 기능과 응용 기능으로부터 데이터를 수집하는 방법, 2) NWDAF가 5G 오케스트레이션 매니지먼트로부

터 데이터를 수집하는 방법, 3) NWDAF의 분석결과를 각 네트워크 기능 및 응용기능으로 전달하는 방법으로 아래에 해당 내용을 기술하고자 한다.



〈그림 3. NWDAF가 수집하는 CDI의 프레임워크[5]〉

첫째로, NWDAF가 각 네트워크 기능과 응용 기능으로부터 데이터를 수집하는 방법은 기존의 네트워크 기능 이벤트 개방 서비스(NF event exposure service)를 이용하여 특정 슬라이스, 특정 사용자 혹은 사용자 그룹, 특정 데이터 네트워크로의 서비스 등에 대한 범주를 정해 수집 데이터 아이템(CDI: collectable data item)단위로 특정 주기를 설정하여 데이터를 수집하는 방법(그림3 참조)과 NRF를 통해 특정 네트워크 기능의 프로파일(네트워크 기능의 용량, 부하, 상태 등) 및 네트워크 기능의 서비스(서비스 별 용량, 서비스 별 부하, 서비스 별 상태)등의 정보를 NRF가 제공하는 NFDiscovery_Request, NFManagement_NFStatusNotify 서비스를 사용하여 제공받는 것으로 합의하였다.

둘째로, NWDAF가 5G 오케스트레이션 매니지먼트로부터 데이터를 수집하는 방법은 기존의 SA5 서비스 기반 인터페이스를 이용하여 NWDAF가 5G 오케스트레이션 매니지먼트의 서비스를 가입하여 5G 오케스트레이션 매니지먼트로부터 필요한 데이터를 받는 것으로 합의하였다.

마지막으로, NWDAF의 분석결과를 각 네트워크 기능 및 응용기능으로 전달하는 방법은 크게 두가지로 1) 각 네트워크 기능 및 응용 기능이 특정 분석정보를 NWDAF에 직접 요청하는 방법, 2) NWDAF에서 제공되는 메타데이터를 바탕으로 각 네트워크 기능 및 응용 기능이 NWDAF의 분석정보를 요청하는 방법이 최종 합의 되었다. 1) 안의 경우, NWDAF가 분석을 제공하는 서비스를 가입(subscribe)/알림(notification), 요청(request)/응답(response) 두 가지로 정의하고, 각 네트워크 기능이 해당 서비스를 사용하여 NWDAF의 분석 범주(예를들어, 특정 슬라이스, 특정 유저, 특정 지역 등)를 정해 가입 혹은 요청하여 해당 분석을 제공받는 것으로 합의되었다. 다만, 써드파티 응용 기능의 경우, 5G 코어네트워크 외부의 기능이기 때문에, NEF의 이벤트 개방(event exposure) 서비스 가입/알림을 통해 NWDAF가 제공하는 분석 서비스를 제공받는 것으로 합의되었다. 2) NWDAF의 메타데이터를 통한 분석 전달의 경우, NWDAF가 네트워크 기능으로써 NRF에 등록할 때, 자신이 제공할 수 있는 분석 서비스의 메타데이터를 네트워크 기능 프로파일(NFProfile) 형태로 제공하고, NWDAF의 분석정보를 필요로 하는 각 네트워크 기능들이 NRF를 통해 메타데이터를 찾는 것으로 합의되었다.

4.2 5G QoS 프로비저닝/조정

3GPP에서는 응용서비스의 단대단 서비스의 품질 보장을 위해 사업자별 비표준 QoS 정의를 위해 NWDAF의 분석정보를 활용하는 방법을 FS_eNA 기술보고서에서 논의하였으며, 최종적으로 NWDAF가 응용 기능과 각 네트워크 기능으로부터 수집된 데이터(아래에 기술)를 바탕으로 서비스 만족도를 평가하고, 현재 적용된 QoS의 조정여부를 결정하여 PCF에 알려주는 방법을 합의하였다.

서비스 만족도를 평가하기 위해 응용 기능에서 수집해야 하는 데이터는 서비스 만족도(예를들어, 서비스 MOS), 서비스 만족도 측정 시간 등이며, AMF로부터 서비스가 제공되는 위치정보, PCF로부터 QoS 관련정보들(QoS flow bit rate, QoS flow packet delay, QoS flow packet error rate), 슬라이스관련 정보(S-NSSAI), IP필터정보 등을 수집하기로 합의하였다.

4.3 5G 트래픽 핸들링 및 엣지 컴퓨팅

4G EPC 대비 5G 코어네트워크의 큰 차이점 중 하나는 코어네트워크의 게이트웨이가 EPC는 중앙집중적인 PDN 게이트웨이 하나였다면, 5G는 지역적으로 분산된 다수의 UPF 앵커 게이트웨이가 존재한다는 점이다. 따라서, 5G의 트래픽 경로는 EPC와는 달리 매우 다양할 수 있으며, 서비스 만족도와 각 게이트웨이의 부하 관리를 적절히 고려하여 트래픽 경로를 선택할 수 있어야 한다. 이를 위해 FS_eNA 기술보고서에서는 NWDAF의 분석정보를 활용하는 방법을 제시하였다.

FS_eNA 기술보고서에서는 5G의 UPF를 선택하여 트래픽 경로를 설정하는 SMF가 NWDAF로부터 자신이 선택할 수 있는 UPF들의 부하 (예측) 정보 및 UE의 이동성 관련 (예측) 정보를 제공받아 해당 UE의 세션에 대한 UPF를 선택하는 것을 합의하였다. NWDAF는 SMF에서 해당 분석정보를 제공하기 위해 특정시간동안 AMF 혹은 SMF로부터 UE의 위치 정보와 해당 UE가 사용하는 S-NSSAI를 수집하고, SMF로부터 트래픽 볼륨 정보, SMF 혹은 PCF로부터 데이터 네트워크 정보(DNN), 응용 기능 AF로부터 통신 및 이동성 패턴을 수집하는 것을 합의하였다. 아울러, NWDAF가 특정 UPF의 리소스 정보를 알기 위해 5G 오케스트레이션 매니지먼트로부터 해당 UPF의 리소스 상태 정보와 부하 정보를 수집하는 것을 합의하였다.

4.4 5G 백그라운드 데이터 전송에 대한 정책 관리

백그라운드 데이터 전송은 소프트웨어 업데이트 등과 같이 네트워크 응용 서비스가 지연 시간에 대해 여유가 많은 데이터 전송을 수행하는 것을 의미하며, 현재 규격에서 백그라운드 데이터 전송에 대한 정책은 고정되어 있어 시변하는 네트워크의 상황을 적절히 고려하지 못한다. 따라서, FS_eNA 기술보고서에서는 네트워크 상황을 백그라운드 데이터 전송 정책에 적절히 고려하기 위해 NWDAF의 분석정보를 활용 하는 방법을 논의하였고, 채택한 방법은 다음과 같다.

백그라운드 데이터 전송 정책을 위해 FS_eNA 기술보고서에서는 응용 서비스 사업자(ASP: application service provider)가 통신사업자에게 백그라운드 데이터 전송의 변경을 요청하는 것을 기본 가정으로 하고 있으며, 이를 위해, NWDAF가 해당 응용 서비스의 사용자의 규모를 UDR로부터, 각 사용자의 ID를 PCF로부터, 사용자의 위치와 이동성 패턴을 AMF로부터, 네트워크 성능 (예측) 정보를 OAM으로부터 각각 수집하여 현재 적용되고 있는 백그라운드 데이터 전송 정책을 평가하는 방법을 채택하였다. 아울러, 해당 평가를 바탕으로 NWDAF가 백그라운드 데이터 전송 정책의 재설정이 필요하다고 판단한 경우, 응용 서비스 사업자의 응용 기능에 경고를 주어 응용 서비스 사업자가 통신사업자에게 백그라운드 데이터 전송의 변경을 요청하는 방법을 합의하였다.

4.5 대규모 IoT 단말 감시 및 성능 향상

대규모 IoT 단말의 오작동/도난 여부 판단을 위해서는 대조군인 정상 작동을 하는 IoT 단말들에 대한 데이터가 필수적이다. 따라서, FS_eNA 기술보고서에서는 NWDAF가 IoT 단말에 대한 정보를 수집하여 빅 데이터화 하고, 해당 데이터의 분석을 통해 IoT 단말의 오작동/도난 여부 판단 뿐만 아니라, IoT 단말의 성능을 향상하는 방법을 논의하였고, 아래와 같은 합의사항을 도출하였다.

먼저, IoT 단말의 오작동/도난 여부를 판단하는 방법으로 FS_eNA 기술보고서에서는 AMF/SMF/PCF, IoT 단말을 소유한 응용 서비스 제공자가 특정 IoT 단말 혹은 IoT 단말 그룹에 대해 NWDAF에게 오작동/도난 여부에 대한 분석을 요청하면, NWDAF가 해당 IoT 단말 혹은 단말 그룹에 대해 AMF로부터 시간별 IoT 단말의 위치와 단말의 재등록 빈도를 수집하고, SMF로부터 IoT 단말의 통신 패턴(통신 시간 및 지연시간 등)에 대한 정보를 수집하여 IoT 단말의 정상적인 이동 패턴과 통신 패턴을 파악하는 방법을 채택하였다. 아울러, 분석정보 전달을 방법으로는 NWDAF가 특정 IoT 단말의 오작동/도난 여부를 감지하였을 때, AMF/PCF 혹은 IoT 단말을 소유한 응용 서비스 제공자에게 오작동/도난 여부에 대한 분석정보를 제공하는 것으로 합의하였다.

또한, FS_eNA 기술보고서에는 IoT 단말의 배터리 지속시간 향상을 위해 NWDAF의 분석정보를 사용하는 방법도 다루고 있다. 해당 기능을 위해 구체적으로 NWDAF는 IoT 단말의 MICO (mobile initiated connection only)모드의 수용여부, MICO 파라미터(재등록 타이머, 최소 도달 시간, 다운링크 버퍼 사이즈 등)등에 대해 분석정보를 AMF에 제공하기로 하였다. 아울러, 해당 분석정보 제공을 위해 NWDAF가 IoT 단말의 위치정보를 AMF로부터, 데이터 네트워크 정보(DNN), 슬라이스 정보(S-NSSAI), 내부 그룹 정보, 트래픽 패턴 정보를 SMF로부터, 단말의 가입 정보 및 외부 응용 설정 정보 등을 UDR로부터 각각 수집하는 것을 합의하였다. 부가적으로, 각 네트워크 기능의 부하 정보와 자원 상황을 NRF 혹은 5G 오케스트레이션 매니지먼트로부터, 서비스 품질에 대한 정보를 응용 기능에서 NWDAF가 각각 수집하여 만족할만한 서비스 및 네트워크 품질을 보장하면서 IoT 단말의 배터리 시간을 늘리는 분석을 제공할 수 있게 하였다.

4.6 단말 이동성 관리

FS_eNA 기술보고서에서는 효과적인 단말의 이동성 관리를 위해 NWDAF의 분석 결과를 활용하는 방법을 채택하였으며, 구체적으로 단말 등록 지역(registration area)설정, 단말 서비스 제한 지역 설정, 단말 연결 관리(connection management)하기 위해 NWDAF의 분석정보를 활용하는 것을 합의하였다.

단말 등록 지역을 설정하기 위해서 AMF는 NWDAF에게 단말의 이동 패턴의 예측 및 분석정보를 요청할 수 있고, 이를 바탕으로 등록 지역을 설정하는 것을 합의하였으며, 서비스 제한 지역 설정을 위해서는 AMF가 PCF에 서비스 제한 지역에 대한 정보를 제공하면 PCF가 NWDAF에게 단말의 이동 패턴 분석정보를 요청하여 서비스 제한 지역을 설정하게 하였다. 마지막으로 단말 연결 관리를 위해 AMF는 NWDAF에게 단말의 통신 패턴 및 이동성 패턴을 분석정보를 요청하고, 단말의 통신 빈도와 지연 특성, 단말의 이동성 특성에 따라 단말 연결 모드를 설정하는 것을 합의하였다.

4.7 네트워크 상태 노스바운드 개방

해당 유즈케이스를 위해 FS_eNA 기술보고서에서는 써드파티 응용 기능의 요청에 따라 특정 지역 혹은 특정 단말에 대한 네트워크 상황에 대한 NWDAF의 분석정보를 노스바운드로 일회성 혹은 지속적으로 개방하기로 합의하였다.

구체적으로, 써드파티 응용 기능이 특정지역에 대한 식별 정보 혹은 특정 단말에 대한 식별 정보를 GPSI (generic public subscription identifier) 및 보고 기간(일회성 혹은 지속성)에 대한 정보를 담아 NEF에게 네트워크 상황에 대한 보고를 요청하고, NEF가 해당 요청을 NWDAF에서 제공하는 AnalyticsInfo_Request 서비스로 대체하여 NWDAF에게 응용 기능이 요청한 분석정보를 요청하는 방식을 채택하였다. 아울러, 요청한 분석정보의 전달 방법은 NEF가 NWDAF로부터 전달 받은 분석정보를 다시 써드파티 응용 기능으로 전달하는 방법을 채택하였다.

V. 결론

본 고에서는 3GPP SA WG2에서 5G 네트워크 자동화를 위해 논의한 FS_eNA 기술보고서의 주요 이슈와 상세 요구사항 및 표준화 현황을 간략히 살펴보았다.

3GPP SA WG2에서는 FS_eNA 기술보고서를 통해 NWDAF가 5G 오케스트레이션 매니지먼트, 각 네트워크/응용 기능에서 네트워크 데이터를 수집하는 방법과 NWDAF 분석정보를 필요로 하는 각 네트워크/응용 기능에 전달하는 서비스 인터페이스를 정의하였으며, 다음의 6가지 유즈케이스에 대해 NWDAF를 활용하는 기본적인 방법을 합의하였다.

각 유즈케이스는 1) PCF가 5G QoS 프로비저닝을 위해 NWDAF가 제공하는 분석을 이용하는 방법, 2) SMF가 5G 트래픽 핸들링을 수행하기 위해 NWDAF의 분석정보를 바탕으로 UPF를 선택하는 방법, 3) AF가 NWDAF의 분석정보를 바탕으로 5G 백그라운드 데이터 전송에 대한 정책 변화를 PCF에게 요청하는 방법, 4) 대규모 IoT 단말의 도난/오작동 감지 및 배터리 지속 시간의 향상을 위해 NWDAF의 분석정보를 활용하는 방법, 5) AMF가 단말의 이동성 관리를 위해 NWDAF의 분석정보를 활용하는 방법, 6) 써드파티 AF가 5G 네트워크 상황을 파악하기 위해 NWDAF를 활용하는 방법이다.

2018년 1월부터 시작되는 5G Phase 2 (Release 16) 규격 작업에 3GPP SA WG2 에서는 완성된 FS_eNA 기술보고서를 바탕으로 NWDAF의 기능을 기술하는 새로운 규격 문서 작성과 함께, NWDAF 기능의 확장을 위해 기존 5G Phase 1 (Release 15)의 stage-2 표준 문서[2-4]를 개정하는 작업을 내년 9월 완료를 목표로 빠르게 진행할 예정이다.

Acknowledgement

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 [2016-0-00567, 5G 코어 네트워크 기술 표준개발].

References

[1] NGMN Alliance, "5G White Paper," Next Generation Mobile Networks, White paper, 2015.02.
[2] 3GPP TS 23.501, "System Architecture for the 5G System (Release 15)," 2017.12.
[3] 3GPP TS 23.502, "Procedures for the 5G System (Release 15)," 2017.12.
[4] 3GPP TS 23.503, "Policy and Charging Control Framework for the 5G System (Release 15)," 2017.12.
[5] 3GPP TR 23.791, “Study of Enablers for Network Automation for 5G (Release 16)”, 2018.12

Biographies



이수환
2009년 2월: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 학사
2011년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 석사
2016년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 박사
2016년 11월~현재: 한국전자통신연구원 표준연구본부 선임연구원
주요 관심분야: 이동통신 망 구조 및 주파수 관리 기법
e-mail: soohwan@etri.re.kr

머신러닝 기반 SDN/NFV 자동화 기술 연구 동향

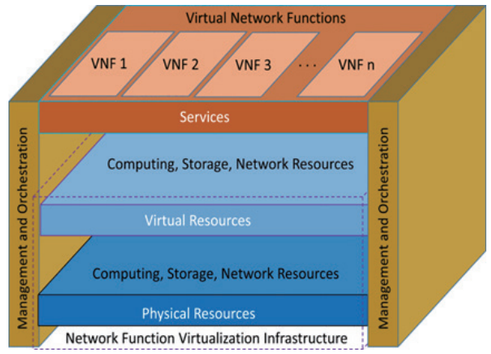
조선우, 정다은, 박형곤
이화여자대학교

Abstract

네트워크의 어플리케이션이 다양해지고 단말기의 수가 증가함에 따라 현대의 네트워크는 기존의 네트워크에 비하여 더 복잡하고 다양한 수요를 반영해야 한다. 특히 5G 네트워크는 기존의 하드웨어를 기반으로 한 구조에서 발전하는 데 한계가 있어, 이를 극복하기 위하여 SDN과 NFV를 적용하여 프로그래머블 네트워크를 구축하고 이들을 자동으로 제어하기 위하여 머신러닝 기술을 기반으로 이들의 지능화를 시도하는 움직임이 활발하다. 본 고에서는 머신러닝기반 SDN/NFV 네트워크 관리 및 오케스트레이션에 대한 선행 연구를 요약 및 분석하고 선행 연구의 한계점과 한계점 극복을 위한 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

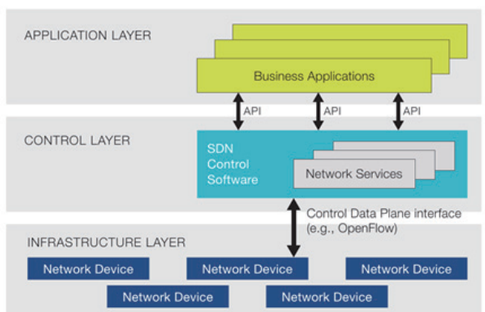
I. 서론

통신 네트워크는 전화선을 이용한 초고속 인터넷 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)과 VDSL(Very high-data rate Digital Subscriber Line)에서부터 아날로그 통신 기반이었던 1세대 무선통신, CDMA(Code Division Multiple Access)를 기반으로 한 2세대 무선통신, WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access)를 이용한 3세대 무선통신과 스마트폰 대중화를 이루고 있는 LTE(Long Term Evolution)기반 4세대 이동통신에 이어 5세대 이동통신(5G) 네트워크로 발전하고 있다[1]. 5G는 사물인터넷, 자율주행 자동차 등의 발전으로 인한 다양한 네트워크 요구를 만족시키기 위한 초연결, 초고속, 초저지연을 목표로 등장하게 되었고, 2019년 상용화를 앞두고 있다.



〈그림 2. NFV 구조[5]〉

5G 시대의 핵심 기술 중 하나인 SDN(Software Defined Networking)[2-3]과 NFV(Network Function Virtualization) [4-5]는 기존의 구조, 기능 및 전략 등 한번 결정되면 변경하기 어려운 경직된 네트워크 형태에서 소프트웨어 기반의 유동적이고 변화가 자유로운 네트워크 구조를 지향한다 (그림 1, 그림 2). 하드웨어기반의 전통적 네트워크와는 달리 네트워크 구조 및 기능을 소프트웨어적으로 제어 할 수 있기 때문에 SDN, NFV의 등장과 함께 네트워크 자동화를 위한 노력이 지속되고 있다. 하지만, 현재까지 많은 부분이 수동적으로 관리 및 조절되고 있으며 자동화가 시도되었다고 해도 부분적인 자동화에 그치는 수준이다.



〈그림 1. SDN 구조[2]〉



〈그림 3. 5G-PPP ConNet 프로젝트 및 SELFNET 프로젝트 [6], [7]〉

SDN/NFV에 네트워크 자동화를 위하여 인공지능 기술을 활용하기 위한 연구 개발의 대표적인 프로젝트로 유

럽 표준기구인 5G-PPP(5G Public-Private Partnership Association)의 CogNet[6]과 SELFNET[7]을 들 수 있다. CogNet과 SELFNET은 머신러닝을 중심으로 5G 환경에 적합한 네트워크 관리 자동화 시스템을 연구하였다. 또한, 유럽의 통신 네트워크 표준화기구인 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)는 정보통신기술 표준화를 통해 2021년까지 우리 주변의 모든 환경을 자동화 하는 것을 목표로 하고 있다[8].

인공지능을 구현하기 위하여 대표적으로 활용되는 머신러닝은 입력 데이터에 대한 결과 값을 일일이 지정해 주지 않아도 기계가 스스로 학습하고 데이터의 경향을 파악하여 새로운 입력 데이터가 주어졌을 때 이 입력이 어떠한 출력을 나타낼지 예측하게 하는 알고리즘을 의미한다. 머신러닝을 이용하면 방대한 양의 데이터에 대해 관리자가 입력 데이터에 따른 출력을 일일이 지정해 주지 않아도 기계가 데이터를 이용하여 스스로 입력에 대한 출력을 예측할 수 있어 방대한 입력 데이터를 빠르게 처리할 수 있고 인간의 개입 및 판단에 의한 오류를 줄일 수 있으며 더욱 정확하고 빠른 결정을 내릴 수 있다는 장점이 있다. 네트워크 관리의 측면에서 볼 때, 네트워크는 다량의 데이터가 존재하여 학습 시키는 데에 유리하고 데이터의 경향성을 예측할 수 있게 되면 수동적인 관리에 비해 더 빠르고 정확한 대응을 할 수 있게 된다. 따라서 네트워크 관리 자동화를 위하여 머신러닝을 적용하는 것은 적절한 접근 방법이라 할 수 있다.

II. 머신러닝을 적용한 SDN/NFV 제어

SDN/NFV 환경에서 네트워크를 효율적으로 관리하기 위해 현상을 예측하거나 예측한 결과를 바탕으로 네트워크 스스로 대처하도록 하기 위하여 머신러닝을 적용한다. 머신러닝 적용의 목적에는 구체적으로 트래픽 예측[9], 네트워크 자원 관리[10], 네트워크 오토스케일링[11], 최적의 제어 알고리즘 추적[12], 이상 감지[13], QoD 향상 및 모니터링 비용 최소화[14], VNF 실패 예측[15], 어플리케이션 식별[16], VNF 선택 및 배열[17], 컨텐츠 인기도 예측[18] 등이 있다. 이번 장에서는 목적에 따라 SDN/NFV 환경에 적용된 머신러닝 알고리즘과 활용한 데이터에 대하여 알아본다.

1. 트래픽 예측

네트워크의 효율적인 관리를 위해서는 트래픽이 언제, 어디에 몰리는지 예측하는 것이 중요하다. 트래픽 예측은 자원의 할당이나 네트워크 오토스케일링, 네트워크 이상 감지 등 다양한 문제의 해결에 기본 과정으로 활용 가능하며, 네트워크 문제 상황에 보다 빠르게 대처하는 것이 가능하게 한다.

[9]는 SELFNET 프로젝트의 기본 목표인 네트워크의 자가치유, 자가보호 및 자가최적화를 목적으로 하고 있다. 특히 트래픽 혼잡을 방지하기 위해 분류 알고리즘을 이용한 트래픽 예측에 대해 연구하였고 이를 위해 5G 네트워크 테스트베드를 실제로 구현하여 네트워크 내 서버들 및 PC에서 네트워크 관리감독 시스템인 Zabbix client로 트래픽 데이터를 직접 관찰하여 학습 데이터로 사용하였다. 결정 트리, linear discriminant, SVM, k-NN의 분류 알고리즘을 사용하여 각각의 알고리즘에 따른 성능을 비교하였는데, k-NN은 특정 데이터 feature에 대해서는 100%의 정확도를 나타내며 좋은 성능을 보였다.

2. 네트워크 자원관리

네트워크에 투입하는 자원은 연속적이기 때문에, 네트워크 자원 관리는 다른 네트워크 관리 분야에 비하여 머신러닝 알고리즘 중 회귀 분석이 많이 사용되는 특징이 있다.

[10]은 SDN 환경 하에서 트래픽을 예측하고 그에 따라 자원을 어떻게 할당하는 것이 효율적인지에 대해 연구하였다. 트래픽 예측을 위해서 머신러닝 알고리즘인 BP(Back Propagation)과 SVM을 사용하였는데, BP는 더 짧은 학습 시간으로 높은 정확도를 낼 수 있고 SVR을 이용하여 트래픽을 예측할 수 있다. 이에 따른 자원 할당 정책은 최적화 알고리즘 중 하나인 유전 알고리즘을 이용하였다.

3. 네트워크 오토스케일링

네트워크에 트래픽이 갑자기 증가하게 되면, 한정된 네트워크 자원이 트래픽을 감당하지 못하고 다운되어 버리는 문제가 발생하게 된다. 이러한 상황을 방지하기 위하여 네트워크 오토스케일링을 적용할 수 있는데, 네트워크 수요가 갑자기 많아지면 서버 등의 자원을 늘려 트래픽 요구량을 감당할 수 있게 하고 반대로 수요가 적어지면 자원을 줄여 낭비되는 자원이 없도록 하는 방법이다. NFV는 원하는 때에 네트워크의 기능과 자원을 클라우드 등 가상공간에 만들고 없애는 것이 자유롭기 때문에 네트워크 오토스케일링에 적합한 환경이라고 할 수 있다.

[11]에서는 대서양 링크의 ISP에서 얻은 실제 트래픽 로드 데이터[19]를 머신러닝 소프트웨어인 WEKA 환경에서 실험하기에 적절한 7개의 분류 알고리즘(random tree, J48, 랜덤 포레스트, multi-layer perceptron, 베이지안 네트워크(Bayesian network) 등)에 대하여 학습시켜 각 알고리즘에 따른 오토스케일링의 정확도를 비교하였다. 정확도는 랜덤 포레스트가 가장 높았고, 베이지안 네트워크가 가장 낮은 정확도를 보였다.

4. 최적의 접근 제어 알고리즘 추적

SDN의 도입으로 데이터평면과 제어평면이 분리되면서 네트워크로 들어오는 연결 요청에 대한 접근 제어(admission control)가 가능해졌다. 접근 제어 알고리즘을 이용하면 SDN이 현재 네트워크의 자원 양에 따라 요청을 수락하거나 거절할 수 있기 때문에 네트워크 관리에 효과적이다.

[12]는 트래픽 상황을 알 수 없을 때 최적의 접근 제어 알고리즘이 무엇인지를 추적하기 위해 유럽 전역의 연구와 교육을 위한 높은 대역폭의 백본인 GEANT으로부터 네트워크 트래픽 분석 프로토콜인 NetFlow를 이용하여 얻은 데이터[20]와 서로 다른 자치 시스템 간의 라우팅 프로토콜인 BGP(Border Gateway Protocol) 라우팅 정보를 데이터로 하여 머신러닝 기반의 SEA(Strategic Expert meta-Algorithm)을 적용하였다. 시뮬레이션 결과 기존의 FLA(Follow-the-Leader meta-Algorithm)에 비해 제안된 알고리즘이 더 좋은 성능을 가진다는 것을 보였다.

5. 이상 감지

정상 데이터와 비정상 데이터를 지도학습으로 학습시켜 이상 상황을 판단하게 하는 방법은 네트워크뿐만 아니라 다른 여러 어플리케이션에서 사용되고 있다. 네트워크 환경에서 이상 감지는 보안과 관련지어 정상패킷과 공격패킷을 구별하는 용도로 사용된다.

[13]은 네트워크에서 정상 패킷과 공격 패킷을 구분하기 위해 분류의 방식을 이용하였다. 데이터로는 기존 다른 연구에서 사용했던 다양한 타입의 공격 패킷과 정상 패킷이 섞여 있는 덤프 데이터[21]를 사용하였다. 분류 알고리즘으로는 SVM, 결정 트리, bagged tree, 랜덤 포레스트, k-NN(k-Nearest Neighbors) 알고리즘들을 사용하여 각각의 성능을 비교하였다. 정확도 측면에서 볼 때 랜덤 포레스트의 성능이 가장 좋고, 시간 측면에서 볼 때에는 결정 트리가 평균 학습 시간과 평균 검증(validation) 시간 모두 최소를 기록하여 가장 높은 시간 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

6. QoD(Quality of Decision) 향상 및 모니터링 비용 최소화

NFV의 VNF는 소프트웨어적으로 구현되고 여러 사용자들이 공유 할 수 있도록 하는 것을 목표로 하기 때문에 일반적으로 클라우드와 같은 가상 머신 위에 만들어 진다. 이 때 이러한 클라우드를 관리하는 CMS(Cloud Management System)는 머신러닝을 활용하여 효율적으로 클라우드를 관리할 수 있다. 하지만 CMS의 QoD를 향상시키기 위해서는 네트워크를 더 자주 모니터링 해야 하기 때문에 모니터링 비용이 증가하는 단점이 존재한다.

[14]에서는 이러한 상황을 극복하기 위해 CMS의 QoD를 향상시키는 동시에 모니터링 비용을 최소화 하는 알고리즘인 z-TORCH(Zero Touch Orchestration)에 대해 연구하였다. CMS의 QoD 향상을 위해 향상된 K-means 군집화 알고리즘을 이용하였고, 모니터링 비용을 최소화하기 위해 강화학습의 일종인 Q-러닝을 이용하였다. 시뮬레이션을 위해 모바일 네트워크를 구현할 수 있는 소프트웨어인 OpenEPC를 이용하여 자체 테스트베드를 구축하여 실험하였고 그 결과 제안된 z-TORCH가 최적의 상황과 근접한 성능을 나타낸다는 것을 확인하였다.

7. VNF 실패 예측

NFV에서 목적에 따라 가상 머신 위에 만들어 사용하는 기능을 VNF(Virtual Network Function)라 한다. 이 때 VNF가 제대로 동작하지 않는 경우를 대비하여 마스터 VNF 외에 백업 VNF를 만들어두기도 하는데, 마스터 VNF의 동작 실패 여부를 예측하여 백업 VNF의 사용 여부를 미리 판단할 수 있으면 NFV 관리에 유리하게 된다.

[15]에서는 마스터 VNF의 실패 예측을 위해 서버의 실패에 대한 공개 데이터셋[22]을 사용하였다. 해당 데이터 셋은 VNF가 실패하는 시간 간격과 온도, 습도 간의 관계에 대한 데이터 셋이고, 이 데이터셋을 활용하여 SVM, SVC(Support Vector Clustering) 및 랜덤 포레스트 방식을 이용해 분류하여 VNF 실패를 예측하도록 하였다. 그 결과, SVM을 이용한 예측은 정확도가 50.08%인 반면, SVC와 랜덤 포레스트를 이용한 예측은 각각 99.99%, 99.98%의 정확도를 나타내며 높은 성능 차이를 보였다.

8. 어플리케이션 식별

어플리케이션 식별은 네트워크에서 이동하는 패킷들이 어떤 어플리케이션을 위한 패킷인지 식별하는 것을 의미한다. 네트워크의 패킷들로부터 특정 어플리케이션에 대한 정보를 파악하여 해당 어플리케이션에 최적 자원 할당을 할 수 있고, 이상 상황이 생겼을 때 원인을 파악하기 용이하며 어플리케이션에 따라 다른 사용자의 요구에 더 잘 대응할 수 있다.

[16]에서는 각 패킷의 활성화된 네트워크 소켓, 패킷 크기 및 포트 번호 등에 대한 패킷 흐름 데이터를 이용하여 각 패킷이 어떤 어플리케이션을 위한 것인지 분류하는 'Atlas'라는 프

레임워크를 제안하였다. 분류 알고리즘으로는 결정 트리 학습법을 사용하였다. 구글 플레이스토어 기준 가장 인기가 많은 어플리케이션 30개를 식별하는 시뮬레이션을 진행하였는데, 평균 정확도가 96%로 높은 정확도를 나타냄을 보였다.

9. VNF 선택 및 배열

SDN와 NFV가 결합된 네트워크 환경에서는 다양한 VNF가 존재하고, SDN의 제어 평면이 특정 패킷이 송신부에서 수신부로 이동할 때 어떠한 VNF들을 거쳐서 이동하는 것이 적절한 지에 대해 판단을 내리게 된다. 이 때 특정 서비스를 제공하기 위해 거쳐야하는 VNF들의 순열을 SFC(Service Function Chain)라고 한다.

[17]에서는 SFC 요청에 대해 최적의 VNF 선택과 순서 배열 만들기 위해 머신러닝을 적용하였다. 심층학습 기반의 DBN 알고리즘을 그래프 계층화 접근법을 통해 얻은 레이블이 있는 데이터[23-24]를 이용하여 학습시켜 속도 관점에서 성능을 분석하였다.

10. 컨텐츠 인기도 예측

캐싱(caching)이란 요청되는 빈도가 높은 데이터의 경우 따로 캐시에 저장해두어 다시 요청되었을 때 빠르게 데이터를 제공할 수 있도록 하는 개념이다. 네트워크 내에서 컨텐츠가 얼마나 인기 있는지, 즉 요청을 많이 받는지 예측하면 캐싱에 유리하기 때문에 전체 네트워크의 효율성이 높아진다.

[18]은 컨텐츠의 인기도 예측을 위해 머신러닝을 적용하였다. ANN과 Softmax를 이용한 SAE 알고리즘을 제안하고, 실험을 위해 구성된 네트워크에서 얻은 컨텐츠의 공간-시간의 결합 분포를 포함한 데이터셋으로 학습시키는 방식으로 연구를 진행하였다. 신경망만을 이용하는 알고리즘과 자동 회귀(auto regression)만을 이용하는 알고리즘을 제안된 알고리즘과 비교하여 실험한 결과 제안된 알고리즘이 가장 높은 정확도를 가진다는 것을 보였다.

III. 선행 연구의 한계점 및 향후 연구 방향

본 고에서 기술한 것과 같이 SDN/NFV 환경에 머신러닝 알고리즘을 적용한 네트워크 자동화 연구는 활발히 진행되고 있다. 하지만 대부분의 선행 연구들은 SDN/NFV 환경에 적용할 머신러닝 알고리즘을 선택할 때에 데이터의 특성을 깊게 고려하지 않거나 일반적으로 성능이 좋다고 알려진 알고리즘을 선택하여 적용해 왔다. 데이터의 특성을 고려하지 않은 머신러닝 적용의 결과는 최적의 결과라고 확신할 수 없으며, 최적의 알고리즘을 선택하기 위해서는 가능한 모든 머신러닝 알고리즘을 적용하여 결과를 얻은 뒤 성능을 비교해야 하는 단점이 있다. 무엇보다 최적 성능을 보여주는 알고리즘에 대한 이해 및 해석을 하기 어려운 문제를 포함하고 있다. 즉, 선행 연구들은 SDN/NFV 환경에서 다양한 목적을 위해 머신러닝을 적용할 수 있다는 가능성을 보여주는 단계에 머무르고 있다.

이러한 한계점을 극복하기 위해서 SDN/NFV 네트워크 데이터 특성을 고려하고 이러한 데이터의 특성에 맞는 최적 머신러닝 알고리즘을 결정하는 방법에 대한 연구 방향이 반드시 필요하며, 데이터는 물론 네트워크 구조에 의하여 결정되는 요소들도 함께 고려되어야 할 것이다. 최종 목표인 전자동 네트워크 관리를 위하여 자동화된 머신러닝(Automated Machine Learning)등을 활용할 수 있는 연구도 함께 진행되어야 할 것이다.

IV. 결론

네트워크에 요구되는 수요가 다양해지고 빠르게 변함에 따라 네트워크를 소프트웨어 기반으로 제어할 수 있는 SDN과 NFV의 필요성이 증대되었다. 더불어 네트워크 제어의 정확성, 실시간성 및 안정성 확보를 위해 네트워크 자동화에 대한 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 SDN/NFV 자동화를 위한 연구가 활발히 이루어지고 있어, 본 고에서는 SDN/NFV 네트워크 제어 및 오케스트레이션에 머신러닝을 적용하여 자동화를 시도한 선행 연구를 조사하고 목적에 따라 분류하여 분석하였다. 또한 선행 연구의 한계점을 기술하고 한계점 극복을 위한 향후 연구 방향을 제시하였다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업(2018-0-00701)의 연구결과로 수행되었으며 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(No. NRF-2017R1A2B4005041)의 지원을 받아 수행된 연구임. 본 고에 실린 내용의 일부는 한국통신학회 논문지에 포함되어 있음.

References

[1] H. Kim, J. Moon, D. Kim, Y. Lee and D. Choi, "A Study on Development of the E-Government based on 5G," Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 1194-1195, Jeju, Korea, Jun,. 2017

[2] ONF Market Education Committee, Software-Defined Networking: The New Norm for Networks (2012), Retrieved Oct., 21, 2018, from http://www.opennetworking.org.

[3] B. Raghavan, M. Casado, T. Koponen, S. Ratnasamy, A. Ghodsi and S. Shenker, "Software-defined Internet architecture: decoupling architecture from infrastructure," Proceedings of the 11th ACM Workshop on Hot Topics in Networks, pp. 43-48, Washington, USA, Oct., 2012.

[4] AT&T, BT, and other operators, Network Functions Virtualisation - An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action (2012), Retrieved Oct., 20, 2018, from https://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf.

[5] R. Mijumbi, J. Serrat, J. Gorricho, N. Bouten, F. De 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.

[6] CogNet, Retrieved Dec., 18, 2018, from http://www.cognet.5g-ppp.eu/.

[7] SELFNET, Retrieved Dec., 18, 2018, from https://selfnet-5g.eu/.

[8] ETSI, Long-Term Strategy 2016-2021, Retrieved Oct., 21, 2018, from https://www.etsi.org/images/files/Brochures/ETSI_LTS%20Brochure_WEB.pdf.

[9] W. Jiang, M. Strufe and H. D. Schotten, "Experimental results for artificial intelligence-based self-organized 5G networks," 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 1-6, Montreal, Canada, Oct., 2017.

[10] S. Sun, L. Gong, B. Rong and K. Lu, "An intelligent SDN framework for 5G heterogeneous networks," IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 11, pp. 142-147, Nov., 2015.

[11] S. Rahman, T. Ahmed, M. Huynh, M. Tornatore and B. Mukherjee, "Auto-scaling VNFs using machine learning to improve QoS and reduce cost," 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 1-6, Kansas City, USA, May, 2018.

[12] J. Leguay, L. Maggi, M. Draief, S. Paris and S. Chouvardas, "Admission control with online algorithms in SDN," NOMS 2016 - 2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, pp. 718-721, Istanbul, Turkey, Apr., 2016.

[13] G. A. Ajaeiya, N. Adalian, I. H. Elhajj, A. Kayssi and A. Chehab, "Flow-based intrusion detection system for SDN," 2017 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), pp. 787-793, Heraklion, Greece, Jul., 2017.

[14] V. Sciancalepore, F. Z. Yousaf and X. Costa-Perez, "z-TORCH: An automated NFV orchestration and monitoring solution," IEEE Transactions on Network and Service Management (Early Access), Aug., 2018.

[15] H. Huang, S. Guo and K. Wang, "Proactive failover for NFV in edge networks," IEEE Communications Magazine, Jul., 2018.

[16] Z. Ayyub Qazi, J. Lee, T. Jin, G. Bellala, M. Arndt and G. Noubir, "Application-awareness in SDN." ACM SIGCOMM computer communication review, vol. 43, no. 4, pp. 487-488, 2013.

[17] J. Pei, P. Hong and D. Li, "Virtual network function selection and chaining based on deep learning in SDN and NFV-enabled networks," 2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), pp. 1-6, Kansas City, USA, May, 2018.

[18] W. Liu, J. Zhang, Z. Liang, L. Peng and J. Cai, "Content popularity prediction and caching for ICN: A deep learning approach with SDN," IEEE Access, vol. 6, pp. 5075-5089, Dec., 2017.

[19] Internet traffic data, Retrieved Oct., 21, 2018, from https://datamarket.com.

[20] S. Uhlig, B. Quoitinm J. Lepropre and S. Balon, "Providing public intradomain traffic matrices to the research community," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 36, no. 1, Jan., 2006.

[21] Network forensics training, challenges and contests, Retrieved Oct., 21, 2018, from http://www.netresec.com/?page=PcapFiles.

[22] Small-scale trace of server machine failures, Retrieved Oct., 21, 2018, from https://bigml.com.

[23] Z. Cao, M. Kodialam, et al., "Traffic steering in software defined networks: planning and online routing," ACM SIGCOMM Computer Communication

Review, vol. 44, no. 4, pp. 65-70, 2014.
[24] D. Abhishek and T. Wolf, "Adaptive service-chain routing for virtual network functions in software-defined networks." Proceedings of the 2016 workshop on Hot topics in Middleboxes and Network Function Virtualization, pp. 32-37, 2016.

Biographies



조선우
2018년: 이화여자대학교 전자공학과 공학사
2018년~현재: 이화여자대학교 대학원 전자전기공학과 재학중
주요 관심분야: 머신러닝, 5G 네트워크, SDN/NFV, 게임이론
e-mail: sunwoo.cho@ewhain.net



정다은
2014년~현재: 이화여자대학교 전자전기공학과 재학중
주요 관심분야: 머신러닝, 베이지안 네트워크, 단백질 네트워크
e-mail: daeun0710@ewhain.net



박형곤
2004년: 포항공과대학교 공학사
2006년: University of California, Los Angeles (UCLA) M.S.
2008년: University of California, Los Angeles (UCLA) Ph.D.
2008년~2009년: Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne (EPFL) 신호처리 연구실 선임연구원
2010년~현재: 이화여자대학교 전자전기공학과 부교수
주요 관심분야: 멀티에이전트 네트워크 시스템, 머신러닝 기반 분산적 의사 결정 전략, 게임이론 기반 네트워크 분산적 자원 관리, 네트워크 코딩
e-mail : hyunggon.park@ewha.ac.kr

ONAP 기술 동향

김주현
삼성전자

Abstract

최근 몇 년 간, 이동통신 장비 시장에서의 최대 관심사는 제조사마다 독립적으로 제공하는 장비의 software를 custom hardware로부터 분리하여 범용 서버 환경에서 통신 서비스를 실현하는 Network Functions Virtualization (NFV) 기술에 대한 것이었다. 실제로 2012년 European Telecommunications Standards Institute (ETSI)에서 NFV 기술을 최초로 소개하고 표준화 활동을 시작한 시점부터, 기존의 통신 사업자 및 장비 제조 업체들을 중심으로 기존의 이동통신 망을 구성하고 있는 전용 장비를 가상화된 SW들의 조합으로 정의하여 구성하기 위한 시도가 지속적으로 이루어져 오고 있다. 또한 NFV Industry Specification Group (ISG) 산하 Solution Working Group (SOL WG) 에서 모듈간 상호 연동을 위한 stage-3 interface 표준의 개발이 완료되어 감에 따라, 통신 산업계뿐만 아니라 open source 진영에서도 NFV 표준화의 개념을 실제 SW로 구현하는 여러 project가 꾸준히 빠른 속도로 진행이 되어 오고 있다. 본 기고문에서는 NFV 표준과 연관된 다양한 open source project들 중에서도 서비스 설계 및 배포 framework 제공, closed control loop을 통한 운영 자동화 등의 차별화된 기능을 탑재하여 주목을 받고 있는 Open Network Automation Platform (ONAP) 기술에 대해 소개하고자 한다.

I. 서론

2017년 2월, 리눅스 재단은 Enhanced Control, Orchestration, Management and Policy (ECOMP) project와 Open Orchestrator (OPEN-O) project를 개방형 네트워크 운영 자동화 platform을 지향하는 ONAP project로 통합했다.



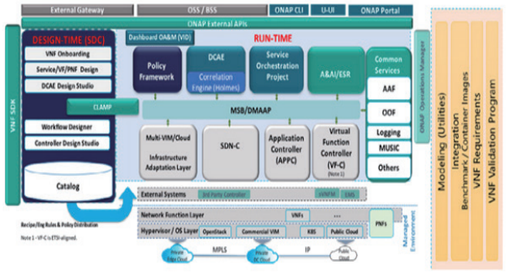
〈그림 1. ECOMP와 OPEN-O project 통합〉

통합의 결과로서 ONAP은 Software Defined Network (SDN), NFV 기술을 기반으로 end-to-end network service를 설계, 배포 및 전체적으로 관리하는 기능과 platform SW의 변경 없이 실시간 정책 반영만으로 운영을 자동화하는 기능을 포함하는 명실상부한 management framework 가 되었다.

본 기고문의 2장에서 ONAP의 구조적인 특성에 대해 간단히 소개하고, 3장에서는 closed control loop automation의 대표적인 예제인 vFirewall blueprint 동작 방식을 설명하는 방식으로 내부 operation에 대한 이해를 돕고자 한다. 마지막으로 결론에서는 현재 기술 동향 및 향후 시사점을 제시하는 것으로 마무리한다.

II. ONAP architecture

ONAP은 micro service based architecture로서, container 형태로 배포된 다수의 SW sub system으로 구성되며, 각 component들은 크게 design time, run time 2가지 종류의 framework의 구성요소로 분류된다.



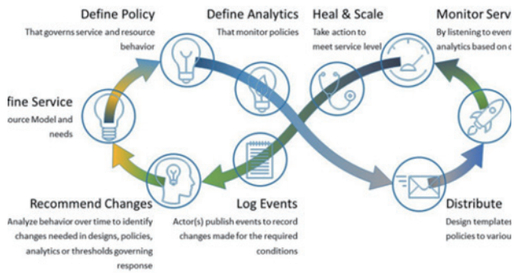
(출처 : https://wiki.onap.org)

〈그림 2. ONAP platform architecture (Casablanca Release)〉

Design time framework는 Service를 설계, 정의 및 배포하기 위한 통합 개발 환경으로서 Service Design & Creation (SDC), POLICY, Closed Loop Automation Management Platform (CLAMP) 등의 sub system이 포함된다. 최근 배포된 Casablanca release에서는 Workflow Designer와 Controller Design Studio (CDS) 가 추가되었다.

Run time framework는 설계 단계에서 배포된 service와 정책을 기반으로 가상 자원을 제어하여 service 실체화 및 운영을 위한 기능을 제공하는 환경으로서 Virtual Infrastructure Deployment (VID), Service Orchestrator (SO), Active & Available Inventory (AAI), Application Controller (APPC), Multi-Virtual Infrastructure Manager (Multi-VIM), Data Collection, Analytics, and Events (DCAE) 등의 구성요소들이 대표적으로 포함되어 있다.

ONAP은 이러한 design time 및 run time framework에 존재하는 여러 구성요소들의 조합을 통해 자동화된 운영을 제공하는데, 특히 사용자의 수동 개입 없이 정책적으로 정의된 조건에 능동적으로 대응하는 데 필요한 자동화 기능을 제공한다는 점에서 이러한 패턴을 closed control loop automation이라고 부른다. 자동화 loop의 전반적인 흐름에 대한 단계별 동작은 아래의 그림 3에서 개략적으로 표현이 되어 있다.



(출처 : https://wiki.onap.org)

〈그림 3. ONAP closed control loop automation〉

위에서 도식화된 흐름에 따라, DCAE는 event를 수집 및 분석하고, POLICY는 특정 조건에 대한 동작을 결정하는 기준점이 된다. 결정된 동작은 APPC, SO와 같은 sub system들에 의해 실제로 실행이 된다. CLAMP는 loop 전반의 흐름을 관장하는 기능을 수행한다.

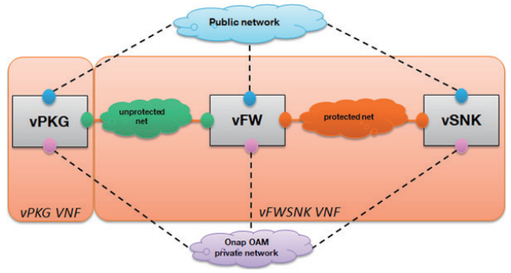
III. vFW blueprint

다른 open source project들과 유사하게 ONAP도 6개월 단위의 목표 주기로 공식 release를 발표한다. 배포된 open source에는 제공하는 기능을 직접 시험해 볼 수 있도록 대표적인 network service에 대한 use case들인 blueprint도 함께 포함해 제공된다. 대표적으로 Virtual Customer Premises Equipment (vCPE), Voice over Long Term Evolution (VoLTE), Virtual Domain Name Server (vDNS), Virtual Firewall (vFW) 의 use case가 제공되고 있었으며, Casablanca release에서는 5G, Cross domain and Cross layer Virtual Private Network (CCVPN) blueprint가 새롭게 소개되었다.

통합 management platform으로서의 ONAP의 실질적인 동작 방식에 대한 이해를 위해 단순히 ONAP의 내부 component 들의 소개와 역할 설명만으로는 충분하지 않으므로, 이 장에서는 초기 버전에서부터 운영 자동화의 대표적인 예제로 사용된 vFW closed loop automation blueprint의 구성과 내부 동작에 대해 간단히 설명하고자 한다.

vFW blueprint는 VPKG, VFWSNK 2개의 VNF로 구성된 하나의 Network Service (NS)로 구성된다. VPKG VNF는 packet generator 역할을 하는 1개의 VNF Component (VNFC)로 구성되며, VFWSNK VNF는 VNF Event Stream (VES) agent가 동작하는 vFW VNFC와 측정된 packet의 양을 web browser에 실시간으로 도식화하여 출력하는 vSNC VNFC로 구성된다.

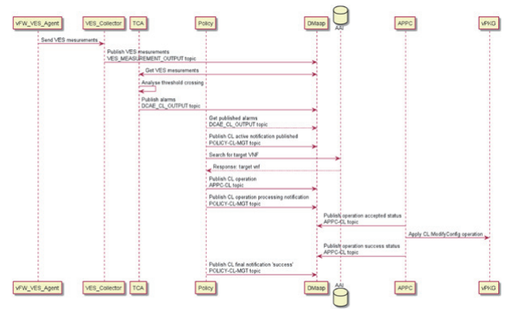
NS를 포함한 모든 VNF들은 SDC에서 작성되고 배포된 후, VID를 통해 그림 4와 같은 구성으로 실제 가상 자원을 생성하여 instantiation 된다. 참고로 각 VNFC들은 Virtual Infrastructure Manager (VIM) 인 Openstack을 통해 하나의 VM으로 생성이 된다.



(출처 : https://wiki.onap.org)

〈그림 4. vFW blueprint 구성도〉

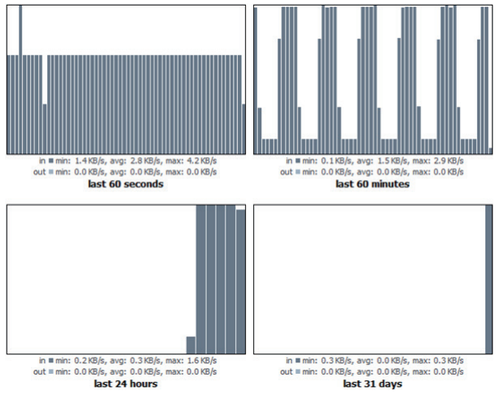
Instantiation 완료 후, 개별 VNFC들에서 packet generator, firewall, sinc application이 각각 구동되면 아래의 그림 5와 같은 흐름을 따라 자동화된 운영 동작이 수행된다. 각 application들의 의해 수행되는 기본적인 동작은 packet generator VM에서 생성된 UDP packet은 firewall VM을 통해 sinc VM까지 전송이 되어 생성된 traffic 양을 web GUI에 그래프로 출력하는 것이다.



(출처 : https://wiki.onap.org)

〈그림 5. vFW closed control loop flow diagram〉

위 흐름도에 대해 간단히 설명하자면, Firewall VM 내에서 동작 중인 VES agent는 측정된 traffic의 양을 event data로 구성하여 DCAE 내의 VES collector에 전송하고, DCAE는 내부의 Threshold Crossing Analytics (TCA) 분석 결과를 기반으로 Data Movement as a Platform (DMaaP) 에 적절한 경고를 게시한다. 정의된 조건에 만족하는 상황이 발생하면 POLICY 에 정의된 정책에 따라 APPC가 생성하는 traffic을 조절하라는 의미의 ModifyConfig 명령을 vPKG VM에 수행하게 된다. 이러한 일련의 절차들에 의해 vFW VM에서 수집된 traffic 양이 어느 수준을 초과했다는 정책적인 판단 하에 결과적으로 vPKG VM에서 생성하는 traffic의 양이 자동으로 줄어들게 된다. 아래의 그림과 같이 vSNK GUI에서는 도식화된 그래프가 제공되며, 이를 통해 사용자는 closed control loop에 의한 자동화된 운영 동작을 실시간으로 확인할 수 있다.



〈그림 6. SINC Web UI에 도식화 된 Packet 측정 결과〉

IV. 결론

현재까지 ONAP은 Amsterdam(2017.11), Beijing(2018.6), Casablanca(2018.11)의 3차례의 공식 버전으로 배포되었다. Amsterdam과 Beijing release를 설치하여 공개된 use case를 재현해 본 결과, NFV, SDN 기반의 service 통합 관리를 위한 상용 management platform으로서는 아직 부족한 부분이 많아, 상용 환경에서 바로 사용할만한 수준이라고 보기는 어려웠다. 또한 2018년 6월 중국 베이징에서 열린 개발자 포럼에서도 현 수준의 ONAP은 상품화하기에는 충분치 않다는 점에 대해 인정하고 향후 14개월 이내에 상품화할 수 있는 수준까지 끌어 올리는 목표를 공식적으로 발표한 것으로 볼 때, open source community 에서도 비슷한 시각을 가지고 있는 것으로 알 수 있었다.

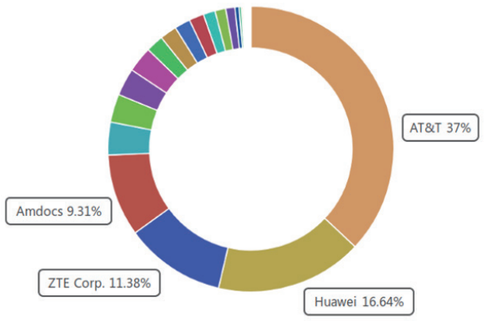
초기의 ONAP은 ECOMP와 OPEN-O 구성원의 연합으로, AT&T, China mobile을 비롯한 세계 선도 기업들을 중심으로 창립 멤버가 구성되었으나, 리눅스 재단은 2018년 1월, Linux Foundation Networking (LFN) 이라는 umbrella project를 조직하여 ONAP을 포함하여 CORD, OPNFV, ONOS 등 network 관련 산하 open source project들의 멤버십을 통합하여, 영향력 있는 단체와 기업들의 적극적인 참여를 유도하고 있다.



(출처 : https://www.linuxfoundation.org/projects/networking)

〈그림 7. Linux Foundation Networking projects〉

그러나 ONAP 출범 후 2년에 가까운 기간이 경과했음에도 불구하고 특정 4~5개 업체에서만 여전히 과반수 이상의 기여를 하고 있다는 부분을 볼 때, 건강한 open source project로 성장하여 소기의 목적을 달성할 수 있을 지는 아직 미지수이다.



(출처 : https://onap.biterg.io)

〈그림 8. ONAP source commit count 통계 (2018년 12월 기준)〉

또한 platform의 성숙도와 별도로, 이미 다수의 업체들에 의해 상용화된 ETSI NFV 표준 기반의 NFV solution 들이 시장에 배포되어 운용되고 있다는 점도 간과할 수 없는 부분이다. 향후 ONAP이 통합 management platform으로서 자리를 잡기 위해서는 어떤 방식으로든 기존 Management & Orchestration (MANO) solution들을 결합하여 상용 환경에서 service 중인 기존 VNF들을 seamless하게 수용하는 이슈에 대한 전략적, 기술적인 측면에서의 고려가 필요할 것으로 보인다.

지금까지 살펴본 바에 의하면, 현재의 ONAP은 상용 수준에 부적합한 platform이라는 점에 대해서는 부정할 수 없는 사실이긴 하지만, open source라는 태생적인 특징과 micro service 기반의 구조적인 강점을 가지고 있어, network automation을 위한 생태계를 조성할 수 있는 기반을 제공하는 시작점으로서 괜찮은 출발점이 되었다는 점만은 분명하다. 그렇기 때문에 향후 일부에 편중되지 않고 다양한 기업 및 단체에서 활발하게 기여가 일어나 open source로서의 생태계가 활성화되고 건강하게 유지가 된다면, 애초 계획했던 바를 이루어 높은 수준의 자동화된 운영 기능을 제공하는 통합 platform을 제공할 가능성이 있는 project로서의 가치는 여전히 존재할 것이다. 따라서 앞으로의 발전 가능성에 초점을 맞춰 ONAP의 행보에 대해 지속적으로 관심을 갖고 지켜볼 필요가 있어 보인다.

1) ECOMP

2016년 AT&T가 자체 개발한 NFV 및 SDN platform으로 리눅스 재단 관할 아래 open source project로 운영되었고, 서비스 배포, 검증, 성능 관리, 결함 관리 및 SDN 업무를 위한 자동화 기능을 제공한다. 회원사는 Orange, Bell Canada, Ericsson, Huawei, Intel, Brocade, IBM 등이 포함되어 있음.

2) OPEN-O

2016년 리눅스 재단에서 발표한 SDN과 NFV 운영을 위한 orchestration framework를 지향하는 open source project로서 China mobile과 Huawei를 주축으로 진행되었다.

Acknowledgement

이 기고문은 TTA 미래 인터넷 그룹 PG-220 2018년 하계 워크샵 발표 내용을 문서로 기술한 것이다.

References

[1] TTA, “해외 ICT 표준화 동향 정보”, Mar. 2017.
[2] https://wiki.onap.org, “ONAP Architecture Overview”, Nov. 2018

Biographies



Kim Ju Hyun
E-mail: goodisk.kim@samsung.com
2002~현재 : 삼성전자 네트워크 사업부 책임 연구원
관심분야: NFV, MANO, Cloud

ETSI Zero-touch Network & Service Management 표준기술

이종화
ETRI

Abstract

ETSI ZSM(Zero-touch network & Service Management) 기술 표준화는 2018년 1월에 시작되어 현재 65여개 주요 통신사업자 및 벤더들이 참여하는 가운데 활발히 진행되고 있다. ETSI ZSM 그룹은 종단간 네트워크 및 서비스 자동화를 위해 통신 사업자들의 요구사항을 수렴하여 이를 해결할 수 있는 기술 규격 개발 및 관련 표준화 활동을 수행하고 있다. 새로운 네트워크 기능과 능력(capability)을 포함하는 종단간 네트워크 및 서비스 자동화에 대한 개념을 정의하고, 유즈 케이스 도출, 프레임워크, 인터페이스 및 오픈 API 규격 개발을 목표로 삼고 있다. 본 고에서는 이러한 ETSI ZSM 그룹의 표준 기술과 관련된 표준화 활동을 소개한다.

I. 서론

NFV, SDN, SBA 등 여러 복잡한 네트워킹 기술, 다양한 요구사항을 만족해야 하는 서비스 오케스트레이션 그리고 네트워크 관리/운용 기술들은 끊임없는 변화를 가져왔다. 그러나, 통신사업자들은 여러 발전된 기술이 혼재된 네트워크를 운용하고, 서비스를 상용화함에 있어 관리/운용상의 복잡함의 규모가 매우 빠르게 증가하고 있는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제 또는 한계는 ETSI ZSM 그룹을 중심으로 여러 운용관리 기술을 분석하고 이를 해결하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 종단간 네트워크 및 서비스 관리 및 운용에 대한 자동화가 가능한 네트워크 기능 확장 및 관련 기술이 매우 우선적으로 필요함에 의견이 모아졌고, 이러한 요구사항은 ETSI ZSM 그룹의 표준화 모터가 되었으며, 2018년 1월 첫 회의를 시작으로 현재까지 활발한 활동을 전개하고 있다.

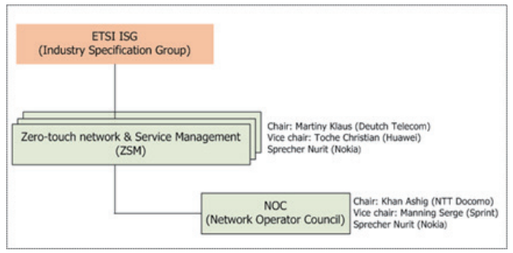
ETSI ZSM 그룹은 복잡하고 여러 벤더들의 기술이 혼재되어 있는 환경에서 네트워크 및 서비스 관리를 위한 새로운 패러다임을 고민하고 있으며, 그 해결책으로 자동화(Automation) 기술을 접목시키고 있다. 본 고에서는 이러한 ETSI ZSM 그룹의 표준화 현황을 살펴보고, ZSM 그룹이 접근하고 있는 네트워크 및 서비스 자동화 기술에 대한 접근 방식과 ZSM 프레임워크를 자세히 살펴보고자 한다.

II. ETSI ZSM 표준화 현황

ETSI ZSM 그룹은 2017년 12월 ISG 그룹 산하에 도이치 텔레콤, 스프린트, NTT도코모, 텔스트라, 텔레포니카 등 세계 주요 통신사업자들 중심으로 구성되었다. 2018년 1월 첫 회의를 시작으로 현재는 19개 통신사업자 및 에릭슨, 노키아, 화웨이, 인텔 등 주요 벤더들을 포함하여 총 65여개 업체가 참여하고 있다. 이 표준화 그룹의 목적은 통신사업자들의 주요 요구사항인 종단간 네트워크 및 서비스 관리/운용을 위한 자동화 표준기술을 대상으로 산업 규격을 개발하고 관련 활동을 지원하는 것이다. 이를 위한 구체적인 활동 목표는 다음과 같다.

- 기존 네트워크 장비나 OSS/BSS를 지원하는 가상 네트워크 구성요소들을 종단간 자동적으로 관리 및 운용이 가능한 하이브리드형 네트워크 지원
- 5G 요구사항을 만족하는 새로운 네트워크 기능과 능력(capability)을 포함하는 종단간 네트워크 및 서비스 자동화에 대한 기본 개념 정의
- 종단간 버티컬 리소스에 대한 네트워크 및 서비스 관리가 가능하고, 클라우드 네이티브 구조를 기반으로 한 종단간 네트워크 및 서비스 자동화를 지원하는 프레임워크, 인터페이스, 오픈 API 및 데이터 모델 정의

ETSI ZSM 그룹은 ISG 산하 다른 그룹과 동일한 방식으로 일년에 4차례 플래너리 회의와 2~3번의 인터림 회의를 개최한다. 통신사업자들만이 참석할 수 있는 NoC 그룹은 통신사업자들의 의견을 취합하고 요구사항을 도출하여 규격 개발에 반영시키는 역할을 수행하고 있다. 현재 ZSM 그룹의 의장단은 도이치 텔레콤, Sprint, 화웨이 및 노키아에서 맡아 수행하고 있다.



〈그림 1. ETSI ZSM 그룹 조직구성도〉

ZSM 그룹은 빠르고 효과적으로 규격 개발을 하기 위해 자체 규격 개발 이외에도 다른 표준화 단체 들 (예를 들면, ETSI NFV, MEC, 3GPP 등 네트워킹 분야 그리고 IETF, OASIS TOSCA 등 데이터 모델 분야)과의 협력을 활성화 하고 있다. 또한, ONAP, ETSI OSG OSM 등 오픈 소스 커뮤니티들과도 밀접한 협력을 추진하고 있다.

ZSM 그룹은 5G와 같은 네트워크 상에 정책 기반(Policy or Intent based), 데이터 분석 및 인공지능/머신러닝 기법 등을 적용한 종단간 자동화 표준기술 분야 총 7개 규격 개발을 시작하였다.

표 1. ETSI ZSM 규격 목록 및 진행상황

규격	규격 명	범위	진행 상황
ZSM 001	Zero-touch network and Service Management (ZSM); Requirements based on documented scenarios	ZSM 유즈 케이스 및 요구 사항 도출	- 2019.01 stable draft - 2019.02 final draft - 2019.03 approval
ZSM 002	Zero-touch network and Service Management (ZSM); Reference Architecture	ZSM 기능 요구사항, 프레임워크 및 세부 기능 서비스 정의 (stage 1)	- 2019.01 stable draft - 2019.02 final draft - 2019.03 approval
ZSM 003	Zero-touch network and Service Management (ZSM); End to end management and orchestration of network slicing	네트워크 슬라이싱에 대한 관리/오케스트레이션 자동화 기술 정의	- 2019.03 stable draft - 2019.06 final draft - 2019.07 approval
ZSM 004	Zero-touch network and Service Management (ZSM); Landscape	ZSM 관련 산업, 표준화, 관련 기술에 대한 리포트	- 2018.12 stable draft - 2019.02 final draft - 2019.03 approval
ZSM 005	Zero-touch network and Service Management (ZSM); Means of Automation	ZSM 자동화의 개념과 대상 기능 정립	- 2019.03 stable draft - 2019.06 final draft - 2019.07 approval
ZSM 006	Proof of Concept Framework	ZSM PoC 관련 사항을 기술하는 프레임워크 정의	- 2018.7 publication
ZSM 007	Zero-touch network and Service Management (ZSM); Terminology for concepts in ZSM	ZSM 용어 및 기본 개념 정의	- 2018.12 stable draft - 2019.02 final draft - 2019.03 approval

이 외에 지난 12월 회의에서 새로운 표준화 아이템으로 “Inter Management domain lifecycle management”이 채택되었는데, ZSM002 프레임워크를 바탕으로 여러 관리 도메인간 서비스 자동화 기능에 필요한 stage 2 규격 개발을 목적으로 하고 있다. 본 아이템은 ZSM002 프레임워크 규격이 approval 상태가 되는 2019년 3월에 시작하기로 결정되었다.

III. 종단간 네트워크 및 서비스 자동화 기술

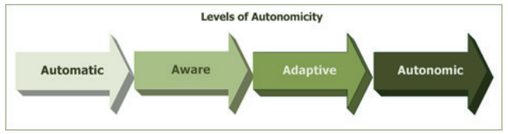
여러 다양한 서비스 요구사항을 만족해야 하고, 복잡한 네트워킹 기술 (예를 들면, 네트워크 가상화, 소프트웨어 기반, 서비스 기반 네트워크 모델 등)이 혼재되어 있는 통신망 환경에서 네트워크 및 서비스 관리 자동화란 매우 도전적인 기술이라 할 수 있다. 그러나 통신사업자 입장에서는 점점 빠르게 증가하는 운용상의 복잡함과 규모를 고려할 때 자동화 기술은 반드시 확보해야 할 기술이며, 이런 기술들이 가능하게 하는 장점 (예를 들면, 버티컬 네트워크 슬라이싱 등)을 통해 새로운 비즈니스 기회를 만드는 것이 매우 중요하다 할 수 있다.

ETSI ZSM 그룹은 종단간 네트워크 및 서비스 자동화의 표준화란 목표를 설정한 가운데, 구체적인 자동화의 의미 그리고 자동화가 가능한 범위에 대한 논의를 진행 중에 있다. 과연 “zero-touch” 접근이 가능한 것인 지 또는 최대한의 자동화를 가능하게 하는 “low-touch” 접근이 현실적인지에 대한 고민을 공유하고 있다.

ZSM 그룹이 고려하고 있는 네트워크 및 서비스 자동화 기술의 일반적 개념은 오퍼레이션 프로세스와 서비스 지원 수행 기능(예를 들면, service creation, fulfilment, assurance, optimization) 그리고 설정된 서비스 요구사항(예를 들면, SLA, policy) 에 따라 유연하면서 자동적으로 실행되는 것을 의미한다. 여러 레벨에서의 자동화를 정의할 수 있지만, 가장 기본적인 개념은 사람/외부 중재 없이 네트워크/서비스 기능을 실행하고 새로운 기능을 자동적으로 입력이나 수정이 가능하고 이에 따라 적절한 액션을 수행하는 것을 의미한다.

ZSM 영역에서는 네트워크 및 서비스에 대한 라이프사이클 관리를 포함한 총체적인 자동화를 고려하고 있으며, 여기에는 설치, 구성, 프로비저닝, 종료 기능이 포함되고, 데이터 분석 (Data analytics) 및 인공지능/머신러닝 기반 자동화 방식을 고려하고 있다. 이렇듯 네트워크/서비스 자동화 기술은 여러 레벨로 구분할 수 있으며, 단순 레벨에서부터 시작하여 완전 자동화 레벨로 발전 가능하다.

- Automatic 레벨: 수동적 중재나 외부 도움 없이 내부 기능과 오퍼레이션을 실행하고 자가 제어가 가능한 레벨
- Aware 레벨: 오퍼레이션의 컨텍스트를 모니터링하고 설정된 목표에 따라 오퍼레이션을 실행하는 레벨
- Adaptive 레벨: 오퍼레이션 실행 중 변경 요소를 감지하고 이에 따라 적절한 오퍼레이션을 실행 할 수 있는 레벨
- Autonomic 레벨: 실행 환경의 변화까지도 감지하고 외부 도움 없이 관리/제어가 가능하며 적절한 오퍼레이션을 실행할 수 있는 레벨



〈그림 2. 자동화의 레벨〉

ETSI ZSM 그룹에서는 위에서 기술한 네트워크 및 서비스 자동화 개념을 바탕으로 어떠한 영역에서 어떠한 기능을 자동화해야 하는지 구체적인 논의를 진행하고 있으며, 현재 언급되고 있는 영역을 다음과 같이 요약할 수 있다.

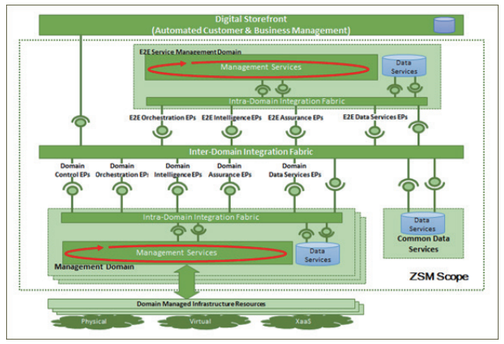
표 2 ETSI ZSM 자동화 영역

자동화 영역 구분		적용 가능한 세부 기능
Terminology oriented		- Policy based management - Intent based management - Model-driven management - CI/CD
Technology oriented		- Workflow and process (e.g. orchestration and related things, playbooks, scripts, etc.) - Assurance (e.g. closed-loop, analytics, anomaly detection, etc.) - Decision/Intelligence-related (e.g. rule-based systems, knowledge-based, AI/ML, etc.) - Device interactions (modelling and device abstractions)
Process oriented	DevOps & CI/CD of Services	- Automate workflow generation at development time - Automate runbook generation at runtime - Automate integrations (controllers, network functions, XaaS-domain, etc.)
	Fulfillment	- Automate assurance provisioning
	Assurance & Closed Loop Automate problem detection	- Automate problem detection - Automate problem resolution identification

IV. ZSM 프레임워크

ETSI ZSM 그룹은 종단간 네트워크 및 서비스 관리/운용 자동화가 지원되는 유연한 관리 프레임워크를 정의하고 있으며, 표1에서 보여지는 바와 같이 현재 ZSM002 규격이 개발되고 있다. ZSM 프레임워크에 적용되는 특성은 다음과 같으며, 그림3은 ZSM 프레임워크를 보여주고 있다.

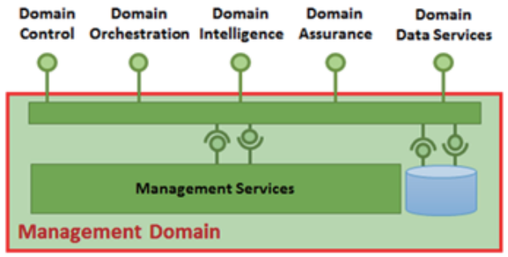
- 서비스 개방과 서비스 통합이 가능하도록 관리 서비스의 합성(composition) 지원
- 서비스 모델 기반, 개방형 그리고 인텐트 기반 인터페이스 지원
- 관리 도메인과 end-to-end 도메인으로 구분하여 지원
- 자동화에 필요한 데이터 공유 지원
- 여러 레벨에서의 closed loop 제어 기반 자동화 지원



〈그림 3. ZSM 프레임워크 구조〉

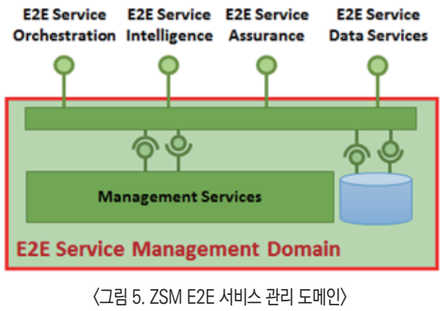
ZSM 프레임워크는 네트워크 관리 도메인에 해당하는 “Management Domain” 과 E2E 서비스 관리 도메인에 해당하는 “E2E Service Management Domain”으로 나뉘어 정의하고, 각 도메인에서는 관리 서비스들을 개방(exposure)할 수 있다. 이들 도메인간에는 관리 서비스와 데이터를 공유할 수 있는 인터페이스 “Integration Fabric”이 존재한다.

- Management Domain
  - 특정의 네트워크 서비스 도메인 (예: 트랜스포트 네트워크, 코아 네트워크, RAN, NFV 기반 가상화 등) 으로 기술적 또는 기업의 조직적 관리 영역에 해당
  - 여러 관리 서비스를 개방하고, 다른 관리 도메인의 관리 서비스들을 활용할 수 있음
  - 각 관리 도메인에서의 내부적 개발 기능이나 인터페이스는 벤더 종속적이며 개방되지 않음



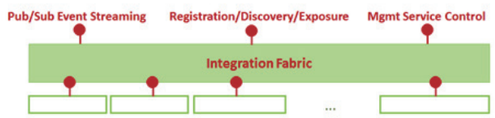
〈그림 4. ZSM 관리 도메인〉

• E2E Service Management Domain
– 멀티 관리 도메인에 걸쳐 종단간 서비스를 관리하며, 여러 관리 서비스들을 개방할 수 있음
– 관리 도메인간의 필요한 제어나 서비스 레벨의 오케스트레이션을 담당함



〈그림 5. ZSM E2E 서비스 관리 도메인〉

• Integration fabric
– 여러 도메인간 관리 서비스들을 개방하고 조합(composition) 기능을 지원함
– Publish/Subscribe 방식으로 서비스 등록, 검색, 이용이 가능함
– 서비스 접근에 필요한 인가, 액세스 제어, 보안 기능을 지원함



〈그림 6. ZSM integration Fabric〉

• Common Data services
– 관리/운용의 데이터 저장, 여러 관리 도메인과 E2E 서비스 관리 도메인간 데이터 공유를 지원함
– 빅데이터 분석 (analytics) 및 데이터 프로세싱 기능을 지원함



〈그림 7. ZSM 공통 데이터 서비스〉

V. 결론

기존 네트워크의 수동적 또는 일부 자동적 방식의 관리/운용 기법을 탈피하여 일정 레벨의 자동화 기술을 적용한다면 현재 통신 네트워크가 안고 있는 복잡성과 운용 비용을 절감할 수 있으리라 예상된다. 또한, 대용량의 관리/운영상의 빅데이터를 저장 분석하고 프로세싱 가능한 기술, 머신러닝 기법, 폐쇄형 반복 제어 (closed control loop) 기법 등을 네트워크에 적용함으로써 자동적으로 배치, 설정, 제어, 관리가 가능하게 하는 "zero-touch" 또는 "low-touch" 네트워크 및 서비스 자동화가 현실화 되리라 전망된다. 이러한 맥락에서 ETSI ZSM 그룹은 종단간 표준형 소프트웨어 방식의 네트 워크 및 서비스 자동화를 지원할 수 있는 산업 규격을 개발한다는 점에서 주시를 받고 있으며, 이러한 표준화 노력에 국내의 참여가 매우 요구되는 시점이라 할 수 있다.

약어

CI/CD	Continuous Integration, Continuous Delivery
NFV	Network Functions Virtualization
SBA	Service-Based Architecture
SDN	Software-Defined Networking
ZSM	Zero-touch network and Service Management
NOC	Network Operator Council
MEC	Mobile/Multi-access Computing
TOSCA	Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications

Acknowledgement

이 논문은 2018년도 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신방송표준개발지원 사업의 일환으로 수행하였음 (No. 2018-0-00701, 5G 네트워크 자동화를 위한 빅데이터 분석 기능 (NWDAF) 및 지능 기술 표준개발)

References

[1] ETRI 표준연구본부, "네트워크 지능 기술 (Network Intelligence Technologies)", ETRI Insight 표준화동향, 2018.02.
[2] ETSI ZSM, "Introductory White Paper", 2017.12
[3] ETSI Draft GS ZSM002 v0.8.0, "Reference Architecture", 2018.12
[4] ETSI ZSM Portal site, https://portal.etsi.org/tb.aspx?tbid=862&SubTB=862,863

Biographies



이종화
1990년: 한양대학교 전자공학과 석사
1996년: 스페인 마드리드 국립대학 정보통신학과 박사
1990년~ 현재: ETRI 표준연구본부 근무
주요 관심분야: NFV, E2E Orchestration, Network & Service Automation
e-mail : jhyiee@etri.re.kr

5G 가상화와 통합 자동 제어 체계 전망

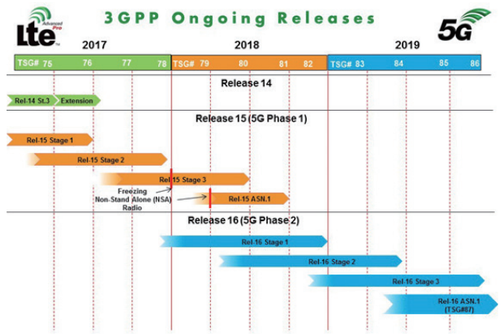
김은도, 우영욱, 옥기상, 백은경
KT

Abstract

최근 10여년 간, 스마트폰뿐만 아니라 각종 IoT 기기들의 대중화로 인해 모바일 데이터 사용량이 폭증하고 있는 추세이다. 이러한 패러다임 변화에 대응하기 위해, 통신 사업자들은 모바일 데이터 중심의 네트워크 서비스와 관련된 새로운 비즈니스 모델을 발굴 및 개선하고 있다. 5세대 이동통신 규격이라 일컬어지는 5G 역시 초고속, 초저지연, 초연결성이라는 세 가지의 특성을 내세우며 이전 세대 규격 대비 20배의 속도 향상, 10배의 지연 시간 감소, 10배의 단말 개수 수용을 목표로 하고 있다. 관련하여, KT는 지난 2018년 2월 평창동계올림픽에서 세계 최초 5G 시범 서비스를 성공적으로 마쳤던 바 있다. 이러한 5G 서비스의 핵심에는 NFV와 같은 네트워크 가상화 기술이 있으며, 이는 물리 및 가상 네트워크 자원을 통합적으로 관리하기 위한 오케스트레이션 기법을 필요로 한다. 본고에서는 NFV 관련 국제 표준 동향에 대해 먼저 살펴본 뒤, KT의 5G 가상화 기반 통합 자동 제어 솔루션인 E2E 인프라 오케스트레이터에 대한 비전을 제시하고자 한다.

I. 서론

5G는 ITU(International Telecommunication Union)[1]에서 정의하는 5세대 이동통신 규격으로서, 이동통신 기술표준단체인 3GPP(3rd Generation Partnership Project)[2]를 중심으로 표준화가 진행되고 있다. 2015년 5월 ITU에서는 ITU-T(ITU Telecommunication Standardization Sector) SG(Study Group) 13 산하에 IMT(International Mobile Telecommunications)-2020 FG(Focus Group)를 구성하였으며, 그 해 6월 첫 미팅에서 5G를 지칭하는 IMT-2020에 대한 기술 및 서비스 방향 등의 비전을 공표하였다. 여기에서 제시한 비전을 바탕으로 하여, 3GPP는 Release 14에서의 선행연구를 시작으로 Release 15에서의 5G Phase 1 단계를 거쳐, 현재는 5G Phase 2 단계에서 활발히 5G 표준화를 진행 중이다. 각 Release에 대한 자세한 일정은 그림 1에 나타나 있다.



http://www.3gpp.org/specifications/67-releases

〈그림 1. 3GPP의 5G 관련 Release 별 세부 일정[2]〉

5G는 초고속, 초저지연, 초연결성이라는 세 가지의 특성을 가지고 있으며, 각각은 최대 20Gbps의 전송 속도, 1ms 이내의 지연 시간, 1㎢ 당 최대 100만 개의 단말 수용을 목표로 하고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위한 핵심 네트워크 인프라에는 NFV(Network Functions Virtualization)와 같은 네트워크 가상화 기술이 필수적으로 자리잡고 있다. NFV란, 기존의 하드웨어 기반 전용 장비에서 수행되던 네트워크 기능들을 소프트웨어로 가상화하여 하드웨어 의존성을 배제하는 기술이다. 이와 더불어, SDN(Software-Defined Networking)은 네트워크의 각 분산된 데이터 평면으로부터 제어 평면을 분리하여 중앙집중화함으로써 개방형 표준을 통해 네트워크의 제어 및 관리를 용이하게 하는 기술이다. NFV와 SDN은 서로 다른 개념이지만, 네트워크 가상화 및 서비스 추상화를 통한 네트워킹 패러다임 전환을 지향한다는 관점에서는 공통점이 있으며 서로 간의 연동이 필수적이다.

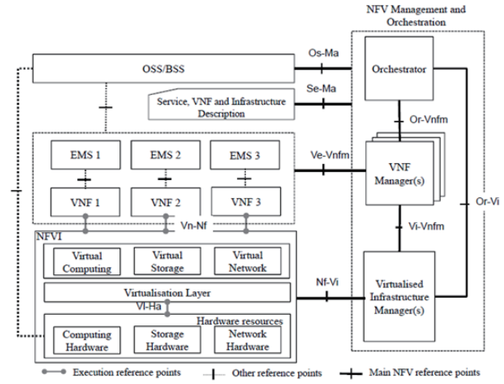
한편, 이러한 가상 네트워크 환경을 통합적으로 관리하기 위한 기술로서 네트워크 오케스트레이션이 중요한 이슈로 자리매김하고 있다. 오케스트레이션은 SDN과 같은 개방형 표준 하드웨어 상에서 물리 자원과 가상 자원 간의 상호 연동 및 관리를 제공한다는 개념이며, 더 나아가 NFV와 같은 가상 네트워크 서비스의 기능 동작에 대한 프로비저닝 역시 제공한다. SDN 및 NFV 오케스트레이션을 통해 네트워크 서비스 제어를 자동화함으로써, 통신 사업자는 보다 더 신속한 네트워크 서비스를 제공할 수 있을뿐만 아니라 한정된 물리 자원을 효율적으로 사용하여 CAPEX(Capital Expenditure)와 OPEX(Operating Expense)를 절감할 수도 있다. 즉, 오케스트레이션은 통신 사업자에게 네트워크 자원을 추상화 및 자동화하여 제어 가능하도록 함으로써 궁극적으로 E2E(End-to-End) 서비스의 간소화를 통한 가속화를 제공하는 데 그 목적이 있다. 여기에서 언급한 NFV 오케스트레이션에 초점을 맞추어, 다음 장부터는 5G 가상화와 통합 자동 제어 체계의 전망에 대한 자세한 내용을 다루고자 한다.

본 고는 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 NFV 오케스트레이션을 위한 국제 표준화 동향 및 오픈소스 현황에 대해 살펴본다. 이어서, III장에서는 가상화 환경에서의 5G 통합 자동 제어 솔루션인 KT의 E2E 인프라 오케스트레이터에 대해 소개하고 자동 제어 관련 이슈를 제기한다. 마지막으로, IV장에서 향후 전망과 비전에 대해 언급하며 결론을 내린다.

II. 표준화 동향 및 오픈소스 현황

표준화 기구 ETSI(European Telecommunication Standards Institute)[3]의 NFV ISG(Industry Specification Group)는 2012년 10월 NFV 표준화 활동을 위해 전세계 대표 통신 사업자들을 중심으로 하여 공식적으로 구성된 그룹이다. 현재 국내에서는 KT, SKT, ETRI, 삼성전자가 참여하여 활동 중이다. 2013년 1월에 제 1차 미팅을 시작으로 Phase-1과 Phase-2를 거쳐 현재는 Phase-3가 진행 중이며, 산하에 다음과 같은 여섯 개의 WG(Working Group)가 운영되고 있다[4].

- EVE(Evolution and Ecosystem): NFV 기술의 진화를 위한 새로운 요구사항 도출 및 에코시스템 발굴, NFV 요금 및 과금 리포트와 소프트웨어 라이선스 관리 리포트 표준화
- IFA(Interfaces and Architecture): NFV 기능 블록 간 상호 운용성을 위한 인터페이스 규격 개발, 기능 및 인터페이스 확장 요구사항 도출
- SOL(Solutions): IFA WG에서 개발한 인터페이스 규격에 대한 API(Application Programming Interface) 및 데이터 모델 정의, 가상 네트워크 기능을 수행하는 VM(Virtual Machine) 인스턴스의 라이프 사이클 및 자원 관리를 위한 API 정의
- REL(Reliability, Availability, and Assurance): NFV 기능의 동작 모니터링 및 오류 방지 등을 포함하는 규격 개발



ETSI GS NFV 002 Version 1.1.1, P.14

〈그림 2. NFV 참조 구조도[5]〉

- TST(Testing, Experimentation, and Open source): PoC(Proof of Concept) 진행, 오픈소스 프로젝트 모니터링 및 지원, NFV 기능 조합 간 상호 운용성 시험 지원
- SEC(Security): NFV 구조에서 보안 관련 규격 개발, 가상화 환경에서의 위협 요소 분석 및 요구사항 도출

ETSI NFV ISG는 국제 표준에서 더 나아가 NFV에 대한 산업체의 기술 요구사항들을 보다 빠르게 반영하여 특정 분야에 필요한 산업 규격을 사전에 정의하는 데 그 목적이 있다.

그림 2는 ETSI에서 정의한 NFV 참조 구조도를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, NFV 구조는 크게 VNF(Virtual Network Function), NFVI(NFV Infrastructure), NFV MANO(Management and Orchestration)라는 세 가지 계층으로 분류된다. 이 중 오케스트레이션을 담당하는 NFV MANO는 물리 및 가상 자원의 라이프 사이클을 관리하는데, 이는 NFVI 내 VNF들의 라이프 사이클을 관리한다는 의미와도 같다. NFV MANO는 다시 NFVO(NFV Orchestrator), VNFM(VNF Manager), VIM(Virtualized Infrastructure Manager)이라는 세 가지 기능 블록으로 구성된다. 특히 최상단에 위치한 NFVO는 OSS(Operations Support System) / BSS(Business Support System), VNFM, VIM과의 인터페이스를 통해 VNF, NFVI로 구성된 NS(Network Service)의 라이프 사이클을 관리하는 매우 중요한 기능 블록이다. 이와 관련하여, NFVO를 위한 대표적인 오픈소스 프로젝트로는 OPNFV(Open Platform for Network Functions Virtualization)[6]와 ONAP(Open Networking Automation Platform)[7]이 있다.

먼저, OPNFV는 여러 통신 사업자들과 네트워크 장비 벤더들이 NFV 인프라를 위한 공통 플랫폼의 필요성에 합의하

며 시작되었다. 리눅스 재단에서 주도하고 있으며, 통신 사업자, 네트워크 장비 벤더뿐만 아니라 개발자 및 사용자도 함께 기존의 NFVI와 VIM에 오픈소스를 통해 새롭게 개발한 기능 구성요소들을 통합하는 것을 목표로 하고 있다. NFV의 특성상 네트워크 기능들을 소프트웨어로 구현해야 하기 때문에, OpenStack, KVM(Kernel-based Virtual Machine), Xen, VMware 등의 공개 소프트웨어들을 기반으로 한다.

다음으로, ONAP은 VNF를 수용하는 오픈소스 기반 자동화 및 오케스트레이션 플랫폼을 개발하는 것을 목표로, AT&T가 주도하던 OpenECOMP 프로젝트와 China Mobile, Huawei, ZTE가 함께 주도하던 Open-O 프로젝트를 통합함으로써 시작되었다. 이 프로젝트 역시 OPNFV와 마찬가지로 리눅스 재단에서 주도하고 있으며, 전세계 통신 사업자와 네트워크 장비 벤더 등이 참여하고 있다. VNF와 PNF(Physical Network Function), VL(Virtual Link) 등으로 이루어진 NS에 대해 설계에서부터 런타임에 이르기까지의 라이프 사이클을 관리하며, TOSCA(Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications)라는 언어를 통해 해당 모델을 정의한다.

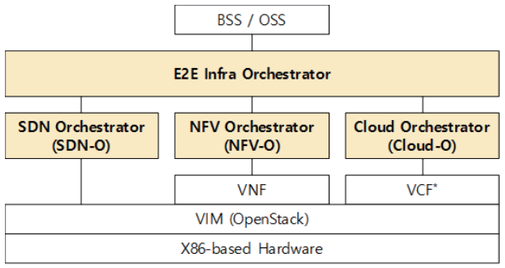
III. KT 오케스트레이션 현황

전세계 통신 사업자들은 네트워크 운용의 효율성과 편의성을 개선하기 위해 노력해 왔다. 네트워크 가상화를 위한 SDN 및 NFV 기술과 더불어, 안정적인 고성능 네트워크 서비스를 위해 컴퓨팅 자원뿐만 아니라 애플리케이션과 같은 서비스나 콘텐츠까지도 모두 클라우드로 전환하려는 것도 그 사례들 중 하나이다. SDN, NFV, 클라우드 기술 모두 가상 네트워크 상에서 XaaS(Everything as a Service)를 구축하는 데 없어서는 안 될 기술들이다.

1. E2E 인프라 오케스트레이터

NFV 오케스트레이터는 일반적으로 NS를 구성하는 VNF, PNF, VL 등의 자원 제어를 추상화 및 자동화할 수 있어야 한다. 여기에서 더 나아가 E2E 서비스의 간소화 및 가속화를 제공하기 위해, KT에서는 E2E 인프라 오케스트레이터를 그림 3과 같이 SDN-O, NFV-O, Cloud-O의 세 부분으로 나누어 각각 다음과 같은 기능들을 효과적으로 수행한다.

- SDN-O: 네트워크 추상화를 통해 네트워크 환경설정을 소프트웨어로 실시간 자동화
- NFV-O: 상호 연결 추상화를 통해 VNF와 연동하여 범용 API 기반의 통신 및 네트워크 구성 지능화



*VCF: Virtual Cloud Function

〈그림 3. KT의 E2E 인프라 오케스트레이터 구조도〉

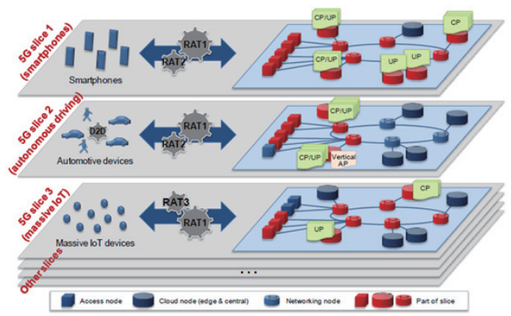
- Cloud-O: 컴퓨팅 추상화를 통해 VCF(Virtual Cloud Function)와 연동하여 자원 할당 및 네트워크 확장성 제공

한편, 네트워크 가상화 기술을 실제 서비스에 적용한 대표적인 사례로는 네트워크 슬라이싱을 들 수 있다. 네트워크 슬라이싱이란, 슬라이싱 자체의 의미에서도 짐작할 수 있듯이, 하나의 물리적 네트워크를 서로 다른 특성을 가지는 다수의 논리적 네트워크들로 나누는 기술이다. 이 때 각각의 논리적 네트워크를 네트워크 슬라이스라 하며, 각 슬라이스는 다른 슬라이스들과 완전히 독립된 네트워크 자원을 보장받을뿐만 아니라 서로 간의 통신에 아무런 영향도 주지 않는다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 수많은 IoT 기기들의 대중화는 다양한 통신 특성들을 요구하기에 이르렀으며, 효율적인 비용으로 이를 해결하기 위한 기술로서 네트워크 슬라이싱이 각광받고 있다.

표 1. 5G 주요 서비스 별 통신 요구사항 예시

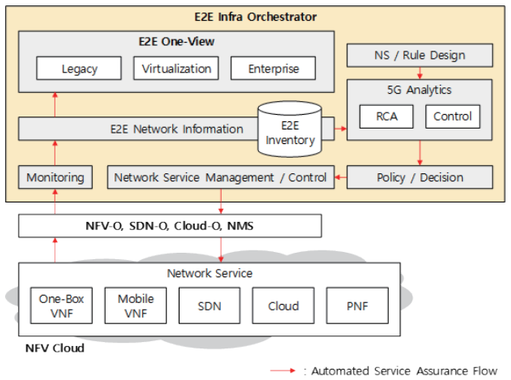
서비스명	전송률(Mbps)	지연(ms)
공장 자동화	> 1	< 0.25~10
지능형 교통 체계	> 10~700	< 10~100
로봇공학 및 텔레프레전스	> 100	< 1
VR(Virtual Reality)	> 1000	< 1
헬스 케어	> 100	< 1~10
컴퓨터 게임	> 1000	< 1
스마트 그리드	> 0.01~1.5	< 1~20
교육 및 문화	> 1000	< 5~10

그림 4는 5G 인프라 내에 구성된 다중 네트워크 슬라이스를 표현한 예시이다. 기존에는 레거시 장비, VNF, SDN, 클라우드 등을 각각의 관리 시스템으로 작업 및 감시했기 때문에 VNF 설정과 SDN 구성 간 시간차로 인한 오류 발생 가능성이 있었으며, 통합 대시보드의 부재로 인해 이러한 수많은 네트워크 체계들이 혼재된 환경에서의 장애 근본 원인 및 관련 장애 확인에 어려움이 따랐다. 이를 해결하기 위해, KT에서는 5G 동적 네트워크 슬라이스를 기반으로 한 E2E 망 분리 기술을 통해 QoS(Quality of Service)를 보장하는



NGMN 5G White Paper, P. 47

〈그림 4. 5G 인프라 내의 서비스 별 네트워크 슬라이스 구현 예시[8]〉



〈그림 5. 서비스 보장성 제공을 위한 E2E One-View 제공을 위한 구조도〉

B2B(Business to Business) 솔루션을 제공한다. 이 솔루션은 통합 자동 제어 체계인 E2E 인프라 오케스트레이터를 활용하여 모든 네트워크 슬라이스들을 실시간으로 제어하는 것인데, VNF, PNF, SDN의 통합 관리를 위한 E2E One-View를 제공함으로써 네트워크 운용 체계를 단순화하며 장애 확인을 신속화한다. 즉, 일원화된 가상화 운용 체계를 통해 업무 환경 내 IoT화된 다양한 개체들로부터 자율적으로 수집된 데이터를 기반으로 능동적인 의사결정을 실시간으로 이행하는 동시에 QoS를 보장하는 시스템을 구축 및 제공하는 서비스를 의미한다. 이를 통해, 궁극적으로는 5G를 위한 유선 및 무선 인프라의 통합과 물리 및 가상 인프라의 통합을 바탕으로 하여 E2E 서비스의 초고속, 초저지연, 초연결성 특성을 제공하는 데 그 목적이 있다.

2. 자동 제어 이슈

하드웨어 중심의 물리 네트워크 환경에서 벗어나 소프트웨어 중심의 가상 네트워크를 기반으로 인프라를 구축함으로써 가질 수 있는 가장 큰 장점은 네트워크 확장성이다. KT의 E2E 인프라 오케스트레이터는 각 네트워크 슬라이스에 현재의 트래픽 집중도에 따라 유동적으로 네트워크 자원을 배분하는, 이른바 스케일링을 자동으로 수행하여 실시간으로 QoS를 제어한다. 여기에서의 중요한 이슈 두 가지는 VNF의 확장(Scale Out) 또는 축소(Scale In)가 수행되기 위한 트리거 조건 제어, 그리고 한정된 물리 자원 내에서 가상 자원을 어떻게 배분할 지에 대한 정책 제어이다. 이는 국제 표준 기반 언어 TOSCA를 사용하여 NFV-O를 통해 사전 설정되며, 이후 SDN-O를 통해 운용된다. 네트워크 오케스트레이션의 관점에서는 이 모든 과정의 완전 자동화를 목적으로 하고 있다.

반면에, 네트워크 운용의 입장에서는 자동화와 비자동화 사이의 균형이 매우 중요한 이슈로 남아 있다. 물리 또는 가상 네트워크 장비의 설치 및 관리는 기존의 운용자가 수행할 수 있는 네트워크의 영역이지만, 장비 내의 솔루션은 기존의 운용자가 수행 불가능한 IT의 영역이기 때문이다. 또한, NFV MANO는 NFV에 해당하는 기술 요소만을 제어하기 때문에, 네트워크 운용자에게 SDN 및 클라우드 운용 프로세스에 대한 별도의 지식도 요구한다. 이러한 문제를 극복하기 위해, E2E 인프라 오케스트레이터는 네트워크와 IT의 영역을 통합하여 E2E One-View 상에서 AI 기반의 서비스 보장성(Service Assurance)을 제공한다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, E2E 인프라 오케스트레이터는 레거시 및 가상화 서비스 인프라 정보를 수집함으로써 AI 분석에 기반하여 E2E One-View를 제공하고 완전 자동화 체계를 확보한다. 정확한 데이터 축적 및 5G 분석 기술과 자동화 제어 기술이 핵심이며, 궁극적으로는 5G 운용에 있어 운용자의 개입을 최소화하는 Closed Control Loop를 구성하는 것이 목적이다. 이 루프는 수집, 분석, 판단, 제어의 네 가지 단계를 지속적으로 반복함으로써 5G 운용을 완전 자동화하는데, 각 단계에서 수행하는 기능들은 다음과 같다.

- 수집: 레거시 및 가상화 인프라의 E2E 정보 수집을 통해, 네트워크 상태 정보를 데이터베이스에 축적
- 분석: AI 기반의 분석을 통해, 축적된 데이터를 취합 후 규칙과 알고리즘을 적용하여 비교 및 분석 수행
- 판단: AI 기반의 판단을 통해, 분석된 데이터를 바탕으로 제어 및 처리 방법 결정
- 제어: 자동화 제어 수행, 피드백, 로깅

AI 분석을 활용한 자동화 제어 체계 구축은 향후 가상화 기반 5G 서비스의 안정적 운용을 위해 필요하며, 이는 수집 단계에서부터 제어 단계까지 완전 자동화함으로써 서비스 보장성을 제공한다는 것을 의미한다. 또한, 통합 제어 체계를 통해 물리 자원과 가상 자원을 통합하여 E2E 네트워크를 신속하게 제공 및 관리함으로써 특정 기업 또는 고객에 특화된 맞춤형 서비스를 장애없이 제공할 수 있다.

IV. 향후 전망

본 고에서는 5G 서비스를 위한 핵심 기술인 네트워크 가상화에 대해 설명하고 KT의 5G 통합 자동 제어 솔루션인 E2E 인프라 오케스트레이터에 대해 소개했다. 폭증하는 모바일 데이터 트래픽은 어쩌면 통신 사업자들에게는 위기인 동시에 새로운 기회가 될 수도 있다. 이러한 변화에 효과적으로 대응하기 위한 열쇠가 네트워크 가상화이며, 이를 위한 핵심 기술은 표준 NFV 인프라 상에서 물리 네트워크 자원과 가상 네트워크 자원 간의 상호 연동 및 관리를 제공하는 네트워크 오케스트레이션이라 생각한다. KT에서는 E2E 인프라 오케스트레이터를 통해 네트워크 자원을 지속적으로 동적 재배치함으로써 트래픽을 효과적으로 수용하여 품질 저하를 막고 운영 효율을 극대화하고자 한다. 또한, 발생 가능한 네트워크 장애를 사전에 예방하고 전력 소비도 최소화하는 등의 다양한 성능 최적화를 더하여 5G 시장에서의 기술적 혁신을 선도하는 것을 목표로 하고 있다.

현재 NFV 표준화에는 전세계 통신 사업자들과 네트워크 장비 벤더들을 중심으로 개발자 및 사용자도 함께 참여하고 있다. 아울러, 각종 오픈소스 프로젝트들을 통해 오픈소스를 기반으로 새롭게 개발한 기능들을 기존의 NFVI와 VIM에 통합 적용해나가며 빠른 발전 속도를 보이고 있다. 5G 가상화와 통합 자동 제어 체계를 위한 KT의 솔루션 역시 국제 표준을 기반으로 개방형 하드웨어 및 소프트웨어를 제어함으로써 새로운 기능들을 쉽고 빠르게 도입할 수 있도록 한다. 더 나아가, E2E 인프라 오케스트레이터를 통해 가상 네트워크 인프라의 자원을 효과적으로 제어 및 관리함으로써, 차세대 네트워크의 발전과 더불어 향후 표준 NFV 플랫폼의 새로운 개방형 생태계 조성에도 KT가 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] ITU, [online] Available: https://www.itu.int/.
[2] 3GPP, [online] Available: http://www.3gpp.org/.
[3] ETSI, [online] Available: https://www.etsi.org/.
[4] 이종화, “ETSI NFV Release-3 표준화 동향,” TTA Journal, Vol. 168, pp. 76-81, Nov. 2016.
[5] ETSI, “Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework,” GS NFV 002 Version 1.1.1, Oct. 2013.
[6] OPNFV, [online] Available: https://www.opnfv.org/.
[7] ONAP, [online] Available: https://www.onap.org/.
[8] NGMN Alliance, “5G White Paper,” White Paper Version 1.0, Feb. 2015.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2018-0-00749, 인공지능 기반 가상 네트워크 관리기술 개발]

Biographies



김은도
2012년: 한양대학교 응용물리학 학사
2018년: 과학기술연합대학원대학교(UST) ICT-네트워크 공학 박사
2018년~현재: KT 융합기술원 전임연구원
주요 관심분야: SDN, NFV
e-mail: eundo.kim@kt.com



우영욱
2000년: 경북대학교 전자공학 학사
2002년: 경북대학교 전자공학 석사
2012년: 한국과학기술원(KAIST) 기술경영 석사
2002년~현재: KT 융합기술원 책임연구원
주요 관심분야: NFV, SDN
e-mail: youngwook.woo@kt.com



옥기상
1995년: 한양대학교 전자계산학 학사
1997년: 한양대학교 전자계산학 석사
2013년: 서울대학교 경영학 석사(eMBA)
1997년~현재: KT 융합기술원 수석연구원 / 팀장
주요 관심분야: NFV, SDN 및 vCPE, 5G Orchestrator
e-mail: ksok@kt.com



백은경
KT 융합기술원 상무 / SDN/NFV TF장
한국정보통신기술협회(TTA) 미래 인터넷 프로젝트 그룹 부의장
한국컴퓨터통신연구회(OSIA) 이사
주요 관심분야: SDN/NFV, IPv6 over WiBro/WiMAX, Mobile Networking, Multimedia Communications, Expert Systems, Electronic Cash
e-mail: eun.paik@kt.com

KREONET-S의 SDN 기반 지능기술 구축개발현황 및 계획

김동균, 김용환, 김기현
Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI)

Abstract

우리나라의 과학기술연구망인 KREONET은 2015년도부터 네트워크 소프트웨어화를 위하여 KREONET-S 프로젝트를 출범했다. KREONET-S는 SDN의 기본 구조를 기반으로 국내외 소프트웨어 정의 광역통신연구망 인프라를 설계하고 구축함으로써 기존의 전통적인 네트워크 인프라와 서비스를 가상화, 자동화, 지능화하기 위한 첨단 네트워킹 이니셔티브이다. 본 고에서는 KREONET-S 프로젝트의 개략적인 소개와 함께 KREONET-S 네트워크 인프라의 가상화/자동화/지능화를 위한 핵심 기술인 가상전용네트워크 시스템의 구조와 주요 서브시스템/모듈의 개발·구현 현황을 기술하는 한편, KREONET-S의 지능화된 네트워크 인프라 구축과 기술 개발 및 고도화 방안에 대해서 논의한다.

I. 서론

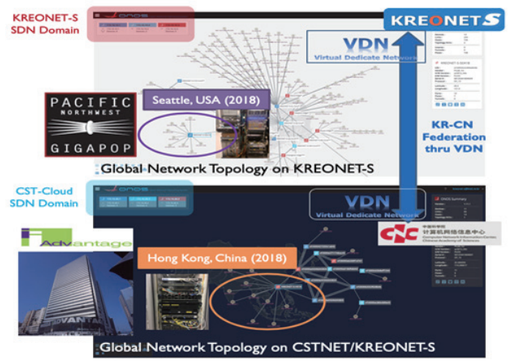
최근 글로벌한 국가연구망과 상용 통신망 및 서비스 프로바이더를 중심으로 네트워크의 가상화, 자동화, 지능화를 위한 네트워크 소프트웨어화(Softwarization) 기술 개발과 인프라 구축이 본격화되고 있다. 한국과학기술정보연구원(KISTI)은 2015년부터 우리나라의 국가과학기술연구망인 KREONET (Korea Research Environment Open Network)의 소프트웨어화를 위해서 KREONET-S (KREONET Softwarization) 프로젝트[1]를 시작했다. KREONET-S는 SDN의 기본 구조인 데이터전달계층(Data Plane), 제어계층(Control Plane), 응용계층(KREONET-S의 경우 가상화 응용 및 서비스 계층)을 토대로 설계되었고, 주로 KREONET의 첨단연구 및 응용기관을 대상으로 네트워크 가상화, 자동화, 지능화를 통한 새로운 네트워킹 인프라와 서비스 및 사용자 경험을 제공하기 위한 이니셔티브이다.

현재 KREONET-S의 데이터전달계층을 담당하는 네트워크 디바이스는 SDN 표준 프로토콜인 오픈플로우를 탑재한 코어 및 에지 스위치로서, 국내외 8개 지역에 설치되어 구축·운영 중이다. 제어계층의 경우 오픈소스 SDN 제어 플랫폼인 ONOS (Open Network Operating System)[2, 3]의 콘트롤러 클러스터링 환경으로 동작하여 고가용성(HA)과 확장성(Scale-out)을 확보할 수 있다. 그리고 ONOS의 노스바운드 API를 기반으로 개발된 가상전용네트워크(VDN, Virtually Dedicated Network) 시스템[4, 5]이 KREONET-S의 가상화 응용 및 서비스 계층을 구성한다.

KREONET-S의 VDN 시스템은 ONOS 제어플랫폼과 더불어 SDN 기반의 네트워크 지능화 환경 구현을 위해서 가장 핵심적인 역할을 담당한다. ONOS가 네트워크 OS로서 오픈플로우 스위치를 제어하고 프로그래머블한 네트워킹 환경을 만든다면, VDN은 가상화된 네트워크를 생성하고 관리할 수 있는 이용자 기반의 유연한 네트워크 환경을 제공하기 때문이다. 특히 보다 자동화된 가상망 계층의 구현과 서비스 제공을 통해 (상위 계층인) 네트워크 지능화 계층의 VDN 오케스트레이터, 빅데이터 분석기, 인공지능/정책 서비스 엔진 등과 유기적인 통합이 가능해진다. KREONET-S는 이러한 지능화된 환경 구현을 위해서 현재 VDN 오케스트레이터(VDNO) 기술과 VDN 슬라이스 Auto-Scaling 기술을 개발 중으로, VDN 시스템과 Kubernetes 컨테이너 기반 서비스 리소스의 통합 및 네트워크 대역폭 관리의 지능화/자동화를 목표로 하고 있다.

본고에서는 KREONET-S의 구조와 주요 구성요소를 바탕으로 네트워크 지능화 인프라 구축과 기술 개발 현황 및 향후 계획을 살펴볼 것이다. 본고는 다음과 같이 구성되어 있다. 2장은 KREONET-S의 SDN 기반 계층별 설계와 구축 현황을 상세히 기술한다. 3장에서는 VDN 시스템의 구조와 기술 구현 현황을 설명하고 어떻게 네트워크 지능화 환경과 연계될 수 있는지 소개한다. 4장은 현재 연구개발 중인 KREONET-S의 자동화/지능화 오케스트레이션과 슬라이스 Auto-Scaling 기술을 다루며, 5장에서 향후 계획을 소개하고 결론을 맺는다.

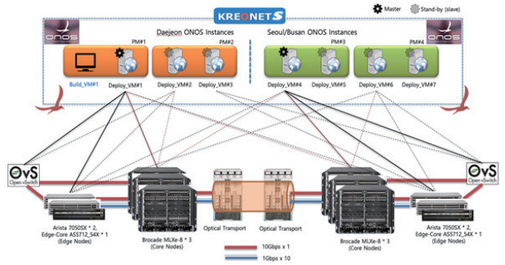
II. KREONET-S의 SDN 계층별 설계 및 구축



〈그림 1. 국내외 KREONET-S 구축 및 국제 상호연계(Federation) 현황〉

그림 1은 KREONET-S의 데이터전달계층과 제어계층의 국내외 구축 현황과, 한국-중국(홍콩)의 SDN 네트워크 도메인 간 상호 연계(Federation) 구축 현황을 보여준다. 2015년부터 2017년까지 KREONET-S는 국내외 6개 지역에 데이터전달계층 네트워크를 구축했다. 국내는 대전, 서울, 부산, 광주, 창원 등 5개 지역에 KREONET-S 국내망센터가 운영중이며, 국제적으로는 미국의 시카고(StarLight [6])에 1개 국제망센터가 가동되고 있다. 그리고 2018년에 글로벌 SDN 광역통신연구망 인프라의 확대 및 고도화를 위하여, 미국의 시애틀(Pacific NorthWest GigaPoP)과 중국의 홍콩(Mega iAdvantage)에 2개 국제망센터를 구축했다. 특히 홍콩의 경우 한국연구재단(NRF)이 지원하는 한-중 국제협력연구사업의 일환으로 중국 국가연구망인 CSTNET (China Science and Technology Network)과 공동으로 KREONET-S/CST-Cloud SDN 도메인을 독립적으로 생성했다. 따라서 한국과 미국을 중심으로 하는 KREONET-S 도메인과 중국(홍콩)의 KREONET-S/CST-Cloud 도메인이 별도의 ONOS 제어플랫폼과 VDN 시스템을 통해 운영되는 환경이 만들어졌기 때문에 두 개의 독립적 SDN 도메인을 상호 연계하기 위하여 VDN 기반의 페더레이션이 이루어졌다.

보다 상세한 데이터전달계층과 제어계층의 구조를 위해서 그림 2를 참조한다. KREONET-S 도메인과 KREONET-S/CST-Cloud 도메인(이하 KREONET-S로 통칭)은 각각 SDN 네트워크 디바이스가 속한 데이터전달계층 및 n-node ONOS 클러스터 중심의 제어계층으로 구성된다. 그림에서 볼 수 있듯이, 데이터전달계층은 오픈플로우 기반의 코어 스위치와 에지 스위치가 여러 개의 1Gbps와 10Gbps 링크를 사용하여 상호 연결된 형태로 SDN 물리망 인프라의 글로벌 네트워크 토폴로지를 구축했고, 여기에 소프트웨어 기반의 개



〈그림 2. KREONET-S의 데이터전달계층 및 제어계층 구조〉

방형 가상 스위치(OVS)가 유기적으로 연계될 수 있다. OVS의 경우 물리망 인프라를 통해 제공하기 어려운 복잡한 네트워크 토폴로지를 프로그래머블하게 만들 수 있을 뿐만 아니라 새로운 SDN 관련 기술을 쉽게 적용할 수 있으므로, 주로 다양한 첨단 네트워킹 테스트베드를 구현하고 개발 기술의 실험, 검증을 수행하기 위한 도구로 이용된다.

한편, 복수 개의 ONOS 인스턴스를 연계하여 논리적으로 단일한 중앙집중적 제어 환경(Logically-centralized Controller)을 갖는 KREONET-S의 제어계층은 최대 7개의 노드를 이용, n-node ONOS 클러스터를 구축 운영하고 있다. 이러한 클러스터링 기반의 제어계층을 구현하기 위해서 KREONET-S는 ONOS의 핵심적인 설계 사상(Design Principle) 중 하나인 분산코어 구조[3]를 활용한다. 분산코어는 ONOS 클러스터에 속한 여러 개의 ONOS 인스턴스가 독립적으로 동작하는 것이 아닌, 서로 긴밀하게 상호 작용할 수 있도록 논리적으로 단일한 콘트롤러 시스템을 구현하며, 이를 위해서 ONOS 인스턴스 간 메시징, 상태 관리, 리더 선출 등의 서비스를 제공한다.

분산코어 구조의 고속 메시징 서비스를 통해 분산된 ONOS 인스턴스들은 네트워크 토폴로지 등의 상태 및 업데이트 정보를 신속하게 교환할 수 있다. 상태 관리 서비스는 주로 네트워크 토폴로지 정보, 플로우 룰(Flow-rule) 관련 정보, 인텐트/설정 정보 등을 관리하며 이러한 주요 정보를 모든 ONOS 인스턴스가 일관성있게 유지하도록 동기화하는 역할을 한다. 리더 선출 서비스의 경우 네트워크 디바이스들이 연결된 ONOS 인스턴스 중 하나를 리더로 선출하여 마스터 인스턴스로 지정하는 서비스로, 마스터로 지정된 인스턴스는 해당 네트워크 디바이스들의 상태 정보를 관리할 수 있는 권한을 가지게 된다. 마스터가 아닌 나머지 인스턴스들은 스탠바이(stand-by)로 동작하되 마스터 인스턴스가 관리하는 상태 정보를 동기화하여, 만약 마스터 인스턴스가 장애로 인해 다운되면 스탠바이 인스턴스들 중 하나가 리더로 재 선출되어 마스터 인스턴스의 역할을 수행한다.

이러한 ONOS의 분산코어 구조를 기반으로, KREONET-S의 제어계층을 구성하는 개별적 ONOS 인스턴스들은 각각 데이터전달계층의 네트워크 디바이스 중 일부에 대한 마스터 인스턴스나 혹은 스탠바이 인스턴스로 동작한다. 따라서 KREONET-S는 인스턴스 간에 토폴로지, 플로우 룰 등의 상태 정보를 일관성있게 공유 및 관리함으로써 제어계층의 고가용성(HA)과 확장성(Scale-out)을 보장할 수 있는 안정적인 운영 환경을 갖추고 있다.

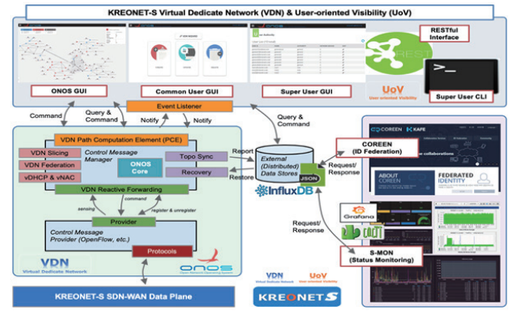
KREONET-S의 가상화 응용 및 서비스 계층(이하 가상화 계층)은 ONOS의 노스바운드 API를 이용하여 구현된 SDN 애플리케이션인 VDN 시스템(VDN의 코어 엔진 및 서브 시스템)을 기반으로 한다. VDN 시스템은 KREONET-S 제어계층(ONOS 클러스터)의 노스바운드 인터페이스를 통해 KREONET-S 데이터전달계층으로부터 네트워크 디바이스, 링크, 포트 및 관련 상태 정보 등을 전달받는다. 그리고 VDN 시스템의 코어 엔진 및 서브시스템이 생성/관리하는 가상 네트워크 토폴로지, 상태, 액세스 제어, 주소, 페더레이션 등의 정보를 제어계층을 통해 데이터전달계층에 전달 및 적용한다. KREONET-S의 가상화계층을 구성하는 VDN 시스템은 네트워크 지능화 환경과 매우 밀접한 연관성을 가지고 있다. VDN 시스템의 구조와 핵심 기술, 그리고 지능형 네트워킹 인프라의 구현을 위해 활용될 수 있는 특징들에 대해서는 다음 장에서 보다 자세히 기술한다.

III. 가상전용네트워크(VDN) 시스템의 구조 및 개발 현황

KREONET-S의 VDN 시스템은 가상 네트워크를 요구하는 사용자가 입력하는 요구 네트워크 대역폭, 엔드호스트, 게이트웨이, 액세스 제어, 주소할당방법 등의 정보를 토대로 쉽고 빠르게 가상전용네트워크를 생성 및 관리할 수 있도록 ONOS의 노스바운드 API (JAVA API)를 기반으로 구현되었다. 가상전용네트워크에서 “전용”의 의미는 사용자가 입력한 네트워크 대역폭을 “dedicate”하게 제공한다는 것으로, VDN 시스템이 생성 및 관리하는 가상 네트워크는 지연시간, 패킷손실, 지터 등의 네트워크 성능을 매우 엄격하게 보장하는 고성능의 가상 혹은 논리 네트워킹 환경이다(참고로, 본 고에서는 “가상네트워크”를 “가상전용네트워크”와 동일한 의미로 사용한다).

VDN 시스템은 가상망 참여 엔드호스트를 중심으로 요구 대역폭을 보장하는 가상 네트워크 토폴로지를 생성하고 이를 기반으로 물리 네트워크 자원을 해당 가상 네트워크에 동적으로 할당한다. 생성된 가상 네트워크는 KREONET-S의 제어계층에 의하여 상호 독립적으로 운영 및 관리되며 그들 사이의 데이터 통신 또한 배타적으로 이루어진다. 이렇게 가상의 독립된 네트워크를 구성 및 운용함으로써 임의의 사용자 그룹 간 데이터 통신에 대한 보안을 향상시킴과 동시에 네트워크의 성능을 매우 엄격하게 보장할 수 있게 된다. 다음은 VDN 시스템의 기본 구조를 바탕으로 제공 가능한 주요 가상 네트워킹 서비스이다.

- 이용자 혹은 이용자 그룹의 네트워크 요구 대역폭(최대 100Gbps)에 따른 서비스, 애플리케이션, 네트워크 테스트베드별 가상전용네트워크(VDN) 구축(<10초)
- 독립적인 SDN 도메인 간(Inter-SDN) 가상 네트워크 통합 연계를 위한 VDN 중심의 페더레이션(Federation) 환경 제공
- SDN-IP를 통한 인터넷 게이트웨이 서비스 및 가상망 액세스 제어(vNAC), 동적 호스트 주소 할당(vDHCP) 서비스 제공
- 가상전용네트워크 기반의 동적 네트워크 슬라이싱 및 자동화 대역폭 할당/제어 가능한 지능형 네트워크 슬라이싱 환경 제공
- 대용량 데이터 전송 및 처리를 위한 가상 네트워크와 서비스 리소스(컴퓨팅, 스토리지 등)의 통합 오케스트레이션 환경 제공
- 이용자 중심의 직관적인 가상 네트워크 토폴로지/상태 정보 가시화 및 편리한 사용자 인터페이스(GUI 및 REST-API) 제공



〈그림 3. 가상전용네트워크(VDN) 시스템의 구조 및 핵심 기능〉

가상전용네트워킹 환경과 서비스를 제공하기 위하여 VDN 시스템은 두 개의 코어 엔진과 다섯 개의 서브시스템 및 주요 인터페이스, 데이터 스토어, 외부 연계 시스템 등으로 구성된 구조를 가지고 있다. 그림 3은 VDN 시스템의 구조와 핵심기능을 보여준다. 그림에서 두 개의 코어 엔진은 VDN 리액티브포워딩(Reactive Forwarding) 엔진과 VDN 경로계산엔진(PCE, Path Computation Engine)이다.

VDN 리액티브포워딩 엔진은 SDN 네트워크 디바이스로부터 유입된 첫 번째 패킷에 관한 오픈플로우의 패킷-인

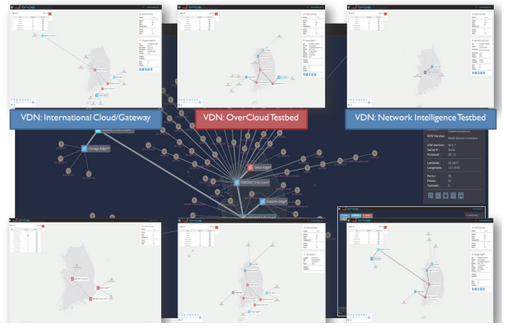
(Packet-In) 메시지를 수신하여 메시지 내의 출발지 주소와 목적지 주소에 해당하는 호스트들의 가상전용네트워크 식별자를 비교함으로써, 다를 경우 전송을 제한하고 동일한 경우 상응하는 가상전용네트워크 정보에 입각하여 해당 패킷에 대한 플로우 룰을 생성한 후 SDN 디바이스에 전송하는 패킷 전달 방식을 채택하고 있다. 이와 같은 방식의 장점은 특정 가상 네트워크의 엔드호스트 집합을 미리 정의하지 않더라도 디폴트 가상망과 같은 형태로 KREONET-S 상의 any-to-any 통신을 가능케 한다는 점과 제어계층에서 가상 네트워크 기능(VNF, Virtual Network Function)을 애플리케이션으로 구현하여 서비스할 수 있다는 점이다. 그리고 VDN 경로계산엔진은 임의의 가상전용네트워크 내 엔드호스트들 사이의 통신을 위하여 전체 네트워크가 아닌 해당하는 가상 네트워크에서 데이터 전송 경로를 탐색하기 때문에 플로우 룰의 생성 시간을 현저히 줄일 수 있도록 설계되었다.

다섯 개의 서브시스템은 각각 가상망 토폴로지 동기화 및 장애복구 서브시스템(Topo-sync and Recovery), 가상망 액세스 제어 서브시스템(vNAC), 가상망 동적 호스트 주소 할당 서브시스템(vDHCP), 가상망 슬라이싱 서브시스템(vSlicing), 가상망 페더레이션 서브시스템(vFederation) 등이다. 먼저 가상망 토폴로지 동기화 및 장애회복 서브시스템은 개별 가상 네트워크의 형상정보(요구 대역폭, 엔드호스트, 게이트웨이, 액세스제어, 슬라이싱 등)를 데이터스토어에 저장하고, 제어계층(ONOS)이나 가상화계층(VDN)의 장애로 인한 시스템 리셋이 발생할 경우 저장된 형상 정보를 토대로 VDN의 경로계산엔진을 통해 가상 네트워크를 자동으로 재생성 및 복구하는 기능이다.

가상망 액세스 제어 서브시스템은 가상 네트워크가 게이트웨이(라우터)를 통하여 공용 인터넷 환경과 연계되는 경우 보안 침해 위협을 최소화하고자 5-tuple (출발지/목적지 MAC 주소, 출발지/목적지 IP 주소, TCP/UDP 포트)을 기반으로 해당 가상 네트워크의 접근을 제어할 수 있는 기능을 제공한다. 그리고 vDHCP 서브시스템은 가상 네트워크별로 지정한 게이트웨이에 따라 가상망에 속한 엔드호스트에게 동적으로 IP 주소를 할당하며, 가상망 슬라이싱 서브시스템은 가상전용네트워크를 기반으로 가상망 슬라이스의 생성 및 관리를 수행한다. 가상망 슬라이싱 서브시스템을 활용하면, 이미 할당된 가상전용네트워크를 세밀하게 슬라이싱할 있으므로 효율적인 가상 네트워크 자원의 관리가 가능하며 가상망 슬라이스 대역폭의 자동화된 증가 및 감소(Auto-Scaling) 환경 역시 구현할 수 있다. VDN 시스템의 가상망 슬라이싱은 오픈플로우의 미터(meter) 테이블을 이용한다.

마지막으로 독립적인 SDN 도메인의 가상 네트워크를 고성능으로 상호 연계하기 위해 고안된 기술이 VDN 페더레이션 서브시스템이다. 이는 한국과 중국에 구축된 SDN 도메인 간 가상망 페더레이션 사례와 같이 국가연구망 기반의 SDN 도메인 상호 연동이나 캠퍼스나 기관에 구축된 SDN 네트워크의 도메인 간 통신, 데이터센터나 슈퍼컴센터 등에 구축된 독립적인 SDN 내부 네트워크를 다양한 협력이나 협업 등의 목적으로 연계하고자 할 때 활용할 수 있는 기술이다.

VDN 시스템을 구성하는 코어 엔진과 서브시스템은 사용자 인터페이스(UI)를 통하여 접근 및 제어할 수 있다. VDN 시스템의 인터페이스는 CLI (Command Line Interface), GUI (Graphical User Interface), REST API 등으로 구현되어 있다. CLI는 주로 관리자가 가상 네트워크의 생성과 관리를 위해 이용한다. GUI는 관리자와 일반 사용자가 모두 활용할 수 있고 VDN 시스템을 권한 별로 관리할 수 있다. 그리고 외부 시스템들은 REST API를 호출하여 VDN 시스템과 통신함으로써 앞서 언급된 VDN 시스템의 다양한 기능과 서비스를 자동화 및 지능화된 방법으로 액세스할 수 있다. 즉, 네트워크 지능화 플랫폼의 정책 설정 및 결정에 따라 생성된 액션 셋(Action Set)을 VDN 시스템에 전달하고, 상호통신하기 위하여 VDN 시스템의 REST API를 호출할 수 있다. 지능화 플랫폼과 VDN 시스템의 인터페이싱을 통한 몇 가지 네트워크 지능화·자동화 관련 사례 및 서비스 시나리오는 다음에 소개되어 있으며, 실질적으로 다양한 서비스나 응용을 위해 생성 가능한 가상전용네트워크의 예는 그림 4를 참조한다.



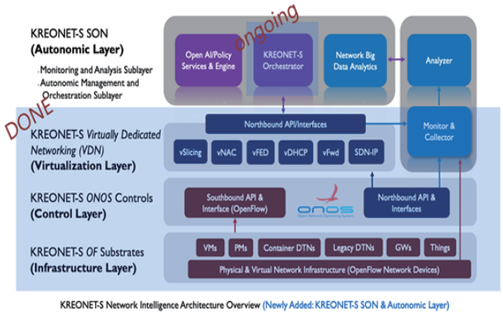
〈그림 4. VDN 시스템을 활용한 가상전용네트워크 구축 사례〉

- 가상 네트워크의 형상 정보를 네트워크 지능화 플랫폼이 생성하여 VDN 시스템에 전달 및 관리할 수 있는 가상망 자동화 관리 환경
- 특정 가상 네트워크에 대한 DDoS 등의 보안 위협을 지능화된 방법으로 탐지하여, 필터링 룰 등 Action-set을 자동 생성한 후 VDN 시스템의 vNAC 서브시스템을 통해 가상망에 적용하고, 위협이 사라지는 경우 해당 보안관련 룰을 동적으로 제거/관리할 수 있는 환경.
- 지능화 플랫폼이 VDN 시스템(혹은 VDN 오케스트레이터)과 컨테이너 및 가상머신 기반의 서비스 리소스를 가상 네트워크와 자동으로 연계하고 동적으로 IP 주소를 할당(vDHCP)하는 통신 환경
- 가상 네트워크 형상정보와 VDN 시스템, vNAC, vDHCP 등의 서브시스템(VNFs)을 활용, 컴퓨팅-스토리지-가상망을 통합하는 소프트웨어 정의 인프라를 지능화된 방법으로 구현 및 제공할 수 있는 환경
- 페더레이션을 통해서 서로 다른 SDN 도메인을 가상 네트워크 기반으로 상호연계하고, 해당 도메인의 컴퓨팅 및 스토리지, 클라우드 리소스를 네트워크 도메인 간 프로비져닝할 수 있는 환경
- 지능화 플랫폼의 다양한 파라미터와 정책을 가상망 슬라이싱 서브시스템에 적용함으로써 이용자가 원하는 최적의 형태로 네트워크 대역폭 및 성능을 Auto-Scaling하는 환경

VDN 시스템은 위와 같은 다양한 서비스 시나리오와 요소기술을 바탕으로 네트워크 지능화 환경과 상호작용할 수 있다. 현재 KREONET-S는 가상화계층에 더하여 네트워크 지능화 계층 및 지능화/자동화 플랫폼을 위한 VDN 오케스트레이터(VDNO 시스템)와 Auto-Scaling 기술 개발을 진행하고 있으며, 다음 장에서 관련 개발 현황을 소개한다.

IV. 오케스트레이터 및 Auto-Scaling 기반 지능화 기술 개발 현황

KREONET-S의 가상 네트워크 오케스트레이터인 VDNO 시스템은 ONOS 기반 제어계층과 VDN 기반 가상화계층에 더하여 그림 5와 같이 새롭게 구성되는 네트워크 지능화 계층의 핵심 기술이다. VDNO 시스템은 1) KREONET-S의 VDN 시스템과 2) Kubernetes 중심의 컨테이너 기반 클라우드 환경을 통합적으로 조율하고 제어할 수 있는 자동화/지능화 시스템으로 개발되고 있다.

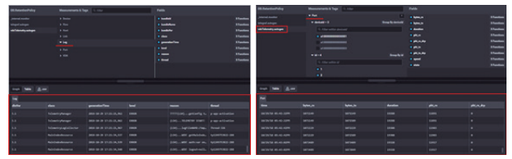


KREONET-S Network Intelligence Architecture Overview (Newly Added: KREONET-S SON & Autonomic Layer)

〈그림 5. KREONET-S 계층별 구조 및 네트워크 지능화 계층(Autonomic Layer)〉

기존 KREONET-S의 계층별 구조에서 가장 상위를 차지하는 가상화계층은 가상전용네트워크를 생성하고 관리하는 역할을 담당하며, 이를 위해서 하위 계층인 제어계층(ONOS) 및 데이터전달계층(물리망 인프라)과 상호작용한다. 새롭게 구현되고 있는 KREONET-S의 네트워크 지능화 계층은 다수의 핵심적인 요소기술을 필요로 한다. 즉, 가상화계층과 더불어 제어계층, 데이터전달계층으달부터 각각 가상전용망 응용, SDN 콘트롤러, 물리망 인프라 대상의 네트워크 데이터를 수집하고 모니터링하는 Monitor & Collector 모듈, 수집된 데이터의 전처리 등 각종 프로세싱을 담당하는 Analyzer 모듈, 다양한 인공지능 모델의 학습/훈련과 테스트를 위한 Big Data Analytics 모듈, 지능화된 정책과 Action-Set을 생성하는 AI/Policy Service 엔진, 그리고 정의된 정책과 Action-Set에 따라 실질적으로 VDN 시스템 및 Kubernetes 기반의 서비스 리소스 관리자와 통신하여 네트워킹/스토리지/컴퓨팅 리소스를 통합적으로 프로비져닝하는 오케스트레이터가 요구된다.

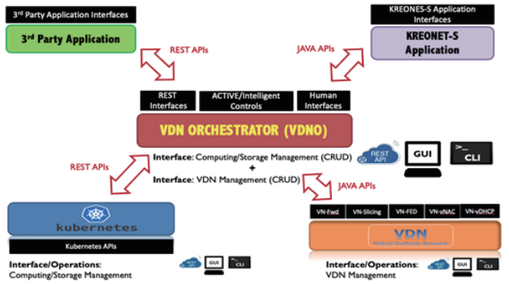
KREONET-S는 네트워크 지능화 계층의 구현을 위해서 현재 데이터의 수집과 모니터링을 담당하는 Monitor & Collector 모듈과 함께 VDN 오케스트레이터 (VDNO 시스템)의 개발을 진행하고 있다. 계층별로 이루어지는 데이터 수집은 ONOS 및 VDN 시스템의 API 기반 데이터 수집(디바이스, 링크, 호스트 등), 에이전트 기반의 데이터 수집(Kubernetes 및 호스트 에이전트), 로그 데이터 중심의 데이터 수집(ONOS 및 VDN 시스템의 Log 파싱 등) 프로세스로 나누어 진행된다. 해당 프로세스에 따라 수집된 데이터들은 BatchPoint에 따라 큐잉된 후, 최종적으로 데이터 저장기(Data Consumer)를 통해 데이터스토어에 기록된다. 그림 6은 데이터스토어의 UI를 통해 현재 수집 관리되고 있는 KREONET-S 데이터의 현황을 보여준다.



〈그림 6. 네트워크 지능화 계층의 데이터 수집 및 관리〉

앞서 언급되었듯이 VDNO 시스템은 가상화계층(VDN 시스템)과 컨테이너 기반의 서비스 리소스 관리자(Kubernetes)를 자동화/지능화된 방법으로 조율하여 통합된 서비스 리소스를 프로비져닝할 수 있도록 설계되었다. 즉, 위치/부하 기반의 컨테이너 처리, 컨테이너와 관련된 클라우드 리소스의 동적 생성, 가상전용네트워크의 온디맨드 처리 등과 관련된 기능을

총괄한다. 그림 7은 이와 같은 VDNO 시스템의 서비스 리소스 및 인터페이스의 자동화된 연계 구조를 나타낸다. 해당 그림에서 컨테이너 리소스를 관리하는 Kubernetes는 VDNO 시스템으로부터 선정된 서비스 클라우드의 위치, 컴퓨팅, 스토리지 등의 서비스 자원에 대한 요청을 수신하고, 해당 위치의 클라우드에 컨테이너 기반의 서비스 자원을 할당한다. 그리고 VDN 시스템은 VDNO 시스템으로부터 사용자 정보, 할당된 컨테이너 기반 서비스 자원, 요구 대역폭 정보 등을 포함한 가상전용네트워크 관리 요청을 수신하여 제어계층의 ONOS 콘트롤러를 통해 서비스 자원과 연계된 물리 네트워크 자원을 수신된 요청에 따라 관리 및 처리한다.

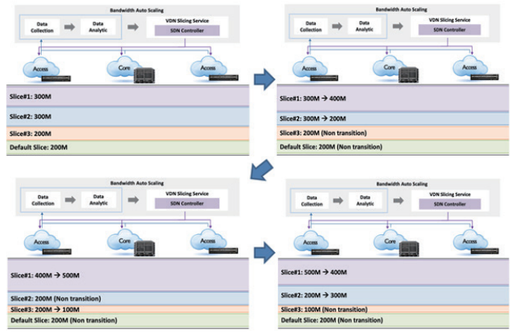


〈그림 7. 자동화/지능화 VDN 시스템 및 Kubernetes 서비스 리소스 연계〉

또한, VDNO 시스템은 지능화된 분산 클라우드 환경의 제공을 위해서 컴퓨팅, 스토리지, 네트워킹 리소스를 위치 및 부하 등의 조건을 고려하여 최적화할 수 있다. 먼저 위치에 대한 가중치를 계산한 후에 가용한 CPU, 메모리, 스토리지 등의 부하 기반 클라우드 가중치를 계산한다. 이러한 가중치는 사용자나 운영자가 직접 정의한 값을 토대로 계산하거나 인공지능, 머신러닝, 휴리스틱 알고리즘 등을 기반으로 설정된 값을 이용할 수 있다. 각 가중치마다 고려해야 할 요소의 복잡도는 일반적으로 증가하며 항상 정의된 가중치가 먼저 결정되어 존재하지 않으므로, 현재 연구개발되고 있는 VDNO 시스템은 다양한 요소에 대한 적합성을 고려한 인공지능 모델의 훈련과 학습을 통해 최적화된 가중치를 설정할 수 있으며, 서비스의 타입, 사용자 또는 엔드호스트의 타입, 사용자의 경험, 해당 서비스 외 다른 서비스와의 연관 관계 등 네트워크 상에 존재할 수 있는 많은 요인을 모두 고려할 수 있도록 연구가 진행중이다. VDNO 시스템은 현재 1차 버전의 개발을 마쳤고, 구현된 기술은 2018년 12월 4일부터 사흘 동안 미국 실리콘밸리에서 개최된 ONF Connect 2018의 국제시연기술로 선정되어 실시간 데모를 통해 많은 관심을 끌었다.

네트워크 지능화 연구를 위해서 오케스트레이터 기반 기술과 더불어 VDN 슬라이스의 대역폭 Auto-Scaling 기술 개발이 진행되고 있다. 해당 기술은 SDN과 VDN을 기반으로 임의의 사용자 그룹에게 제공되는 가상 네트워크 슬라이스의 가용 대역폭을 측정 및 분석하고, 이에 따라 가상망 슬라이싱 대역폭의 관리를 지능화/자동화된 방법으로 수행할 수 있는 방법을 제시한다. 현재 프로토타입이 구현되었고, 개발된 알고리즘은 트래픽 상태 등 우선순위에 따라 지능화된 방식으로 VDN 슬라이스의 대역폭을 자동 증감시킬 수 있다.

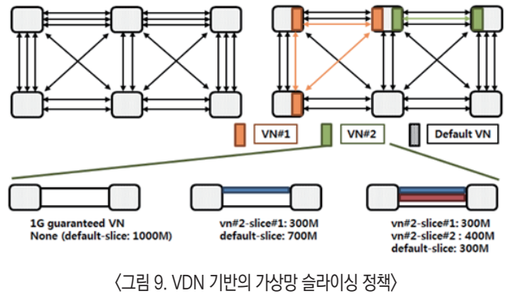
VDN 슬라이스 Auto-Scaling 기술의 기본적인 동작은 그림 8과 같이 VDN 슬라이스로부터 데이터를 수집하고 분석한 후에 해당 분석 결과를 VDN 슬라이싱 서브시스템이 수신하여 동적으로 VDN 슬라이스의 대역폭을 조절하는 방식으로 이루어진다. 예를 들어 그림의 슬라이스#1에 할당된 초기 대역폭이 300Mbps 일 때, 네트워크 트래픽이 점차적으로 증가하여 가용 대역폭의 90% 수준인 270Mbps에 이르게 되면 슬라이스#1의 최대 가용 대역폭이 400Mbps로 자동적으로 증가한다. 그리고 슬라이스#1의 트래픽이 지속적으로 증가하여 다시 가용 대역폭의 80% 이상 점유하면 다시 최대 대역폭이 500Mbps로 증가한다. 문제는 슬라이스#1의 대역폭이 증가하는 경우 슬라이스#2와 같은 다른 슬라이스의 대역폭은 감소해야 한다는 것이다. 따라서 대역폭 증감의 대상이 될 수 있는 슬라이스의 선택 및 실질적인 Auto-Scaling 등을 위하여 지능화/자동화된 기법의 연구와 개발이 필요하다.



〈그림 8. VDN 슬라이스의 대역폭 Auto-Scaling 프로토타입 기술 구현〉

구현된 VDN 슬라이스 Auto-Scaling 프로토타입은 KREONET-S 가상화계층의 가상망 슬라이싱 서브시스템을 기반으로 동작한다. 따라서 VDN의 가상망 슬라이싱 데이터 전송 정책과 플로우 매핑 방법을 이용하며, 크게 Proactive와 Reactive한 방식으로 플로우 룰과 오픈플로우의 미터 매핑이 이루어진다. 먼저 Proactive 방식의 경우, 가상망 슬라이싱의 생성, 갱신, 삭제에 대한 제어 요청이 발생할 때 가상망 슬라이스 경로에 속한 엔드호스트가 연결된 액세스 스위치를 대상으로 미터 테이블 정보를 추가, 갱신, 삭제하며, 만약 가상망 슬라이스 경로들 중 동일한 링크가 중첩되거나 양방향의 종단 간 2개 이상 분기되는 경로가 존재한다면, 엔드호스트의 액세스 스위치가 아닌 가상망 슬라이스에 속한 모든 코어 및 액세스 스위치를 대상으로 미터 테이블이 관리된다. 두 번째로 Reactive 방식은 가상망 슬라이스에 속한 임의의 두 엔드호스트 간에 데이터 전송 요청이 발생할 경우 가상망 슬라이싱의 정보를 기반으로 플로우 룰의 생성과 미터 매핑을 실행한다.

이와 같이 VDN의 가상망 슬라이싱 서브시스템은 가상전용네트워크 환경에서 오픈플로우의 미터 테이블을 기반으로 보다 유연하고 세밀한 동적 대역폭 할당과 제어를 수행하는 종단간 슬라이싱(E2E 슬라이싱) 기법으로 설계, 개발되었다. VDN의 가상망 슬라이싱은 그림 9와 같은 네트워크 슬라이싱 정책을 채택함으로써 N번의 VDN 슬라이스를 생성할 때 N+1개의 가상망 슬라이스와 디폴트 슬라이스를 포함한다.



〈그림 9. VDN 기반의 가상망 슬라이싱 정책〉

VDN의 가상망 슬라이싱 서브시스템을 기반으로 구현된 Auto-Scaling 프로토타입은 자동화된 대역폭의 증감을 결정하기 위해 우선순위를 고려한 고유의 알고리즘을 탑재하고 있다. Auto-Scaling 프로토타입에 적용된 가장 기본적인 방안 중 하나는 효율적인 대역폭 활용을 위해 트래픽 이용률을 분석한 후 VDN 슬라이스의 대역폭을 나누어 할당하는 방식이고, 더하여 공정한 대역폭 할당 기준, 대역폭 변동에 따른 상태 변화 등의 다양한 요소를 기반으로 VDN 슬라이스의 지능화된 대역폭 프로비져닝 환경을 구현하기 위하여 현재 지속적인 연구를 수행하고 있다.

V. 향후 계획 및 결론

KREONET-S는 기 구축 및 개발된 데이터전달계층, 제어계층, 가상화계층의 인프라와 기술을 바탕으로 네트워크 지능화 계층의 연구개발과 기술 적용을 추진하고 있다. 현재 네트워크 지능화 계층을 위해 연구하는 핵심 기술은 가상전용네트워킹 기반의 오케스트레이터 기술과 VDN 슬라이스 Auto-Scaling 기술이며, 각각 1차 버전의 개발과 프로토타입의 구현을 마쳤다. 향후 KREONET-S는 해당 핵심 기술에 대한 지속적인 연구개발을 수행하는 한편, 네트워크 지능화를 위한 빅데이터 수집/분석, 머신러닝 모델 기반의 훈련/학습 및 테스트 등의 관련 연구를 진행할 예정이다.

Acknowledgement

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2018K2A9A2A060236 20)

References

[1] KREONET-S Website, Retrieved Dec., 19, 2018, from http://www.kreonet-s.net/
[2] Open Network Operating System web site, Retrieved Dec., 19, 2018, from http://onosproject.org/
[3] P Berde et al., ONOS: towards an open, distributed SDN OS. In: The third workshop on Hot Topics in Software Defined Networking, ACM (2014), pp. 1-6.
[4] 김용환, 김동균. "SD-WAN 기반의 사용자 중심 가상 전용 네트워크 시스템 설계 및 구현." 한국통신학회논문지 41.9 (2016): 1081-1094.
[5] 김용환, 김기현, 김동균. "SD-WAN 기반 첨단연구망에서의 가상전용망 서비스 설계 및 구현." 한국통신학회논문지 42.10 (2017): 2050-2064.
[6] StarLight Website, "KREONET-S Implements An SD-WAN Connection From South Korea to The StarLight International/National Communications Exchange Facility In Chicago", Retrieved Dec., 19, 2018, from http://www.startap.net/starlight/PUBLICATIONS/KREONET-S.html

Biographies



김동균

2005년: 충남대학교 컴퓨터과학과 박사
2006년~2007년: 미국 테네시주립대학(UT)/오크리지국립연구소(ORNL) Joint Institute of Computer Science (JICS) 초청연구원
2000년~현재: 한국과학기술정보연구원(KISTI) 책임연구원
주요 관심분야: SDN/NFV, Network Intelligence, Research Networking
e-mail: mirr@kisti.re.kr



김용환

2015년: 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과 박사
2016년~현재: 한국과학기술정보연구원(KISTI) 연구원
주요 관심분야: SDN/NFV, Network Virtualization, Mobility Management
e-mail: yh.kim086@kisti.re.kr



김기현

2016년: 강원대학교 컴퓨터과학과 석사
2016년~현재: 한국과학기술정보연구원(KISTI) 연구원
주요 관심분야: SDN/NFV, Network Virtualization, Network Management
e-mail: kkh1258@kisti.re.kr



ETRI
한국전자통신연구원
Electronics and Telecommunications Research Institute

제4차 산업혁명을 선도하는
ICT Innovator

ICT Innovator leading the 4th Industrial Revolution

ETRI의 최첨단 기술은
새로운 영역과 새로운 가치를 만들어내고 있습니다.
꿈꾸는 모든 것을 현실로 구현하는 기술,

ETRI의 첨단 ICT기술은
세상을 더욱 풍요롭게 만들어갑니다.