2017
Electronics and
Telecommunications
Trends

초연결 지능 인프라 특집

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 자율네트워킹의 정의 및 개념
Ⅲ. 자율네트워킹 연구현황
Ⅳ. 결론

ETRI

자율네트워킹 연구동향

Trends in Autonomic Networking Research

신승재 (S.J. Shin) 네트워크연구본부 연구원
윤승현 (S.H. Yoon) 네트워크연구본부 책임연구원
이범철 (B.C. Lee) 네트워크연구본부 책임연구원
김상기 (S.G. Kim) 네트워크연구본부 책임연구원

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신방송연구개발사업의 일환으로 수행하였음[B0101-16-0233, 스마트 네트워킹 핵심 기술 개발].

무선통신, 이동통신 및 사물인터넷 기술의 발달에 힘입어 인터넷의 규모와 복잡도는 해마다 증가하고 있으며, 망의 제어와 관리의 복잡도 역시 함께 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 운용자(operator)가 담당하던 제어와 관리를 망이 스스로 수행하는 자율네트워킹(autonomic networking) 기술이 등장하게 되었다. 초기의 자율네트워킹 연구는 자가관리(self-management)를 위한 프레임워크를 개발하는 것에 중점을 두었으나, 이후에는 SDN/NFV 기반 플랫폼에 기계학습 기술을 접목함으로써, 유연성이 확보된 망에 지능화된 제어 및 관리를 제공하는 방향으로 진화하고 있다. 본고에서는 자율네트워킹에 관한 최근의 연구동향을 소개한다.

OPEN KOGL
본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

Ⅰ. 서론

무선통신 및 이동통신 기술의 발달은 향후 데이터 자원에 접근과 사용에 제약이 없는 초연결(hyper-connectivity) 사회로의 전환을 예고하고 있다[1]. 1988년 시간과 장소의 제약없이 원거리의 데이터 자원을 활용하는 유비쿼터스 컴퓨팅 개념이 등장한 이래[2], 최근에는 인간과 사물이 인터넷을 통하여 자유롭게 상호작용하는 것을 목표로 하는 사물인터넷(IoT: Internet-of-Things) 기술이 4차 산업사회를 여는 첨병으로 각광받게 되었다[3]. 현재 사물인터넷은 가정, 사무실, 공장, 및 차량까지 포괄하는 다양한 환경의 지능화 및 자동화(예, smart-home, smart-office, smart-factory, autonomous driving car)를 실현하기 위한 핵심 요소로서 학계 및 산업계에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

사물인터넷 패러다임이 내포하고 있는 초연결성은 유무선 네트워크 인프라의 규모와 복잡도를 크게 증가시킨다. 2015년 6월 망 장비 제조사인 Cisco의 보고서에 의하면, 전 세계 네트워크 연결 기기의 수는 2014년 약 140억 개에서 2019년 약 240억개로 증가하며, 연간 처리되는 IP 트래픽의 양은 2014년 약 700엑사바이트(exabyte)에서 2019년 2제타바이트(zettabyte)까지 증가할 것으로 전망된다[4].

지능화된 사물인터넷 서비스를 실현하기 위해서는 네트워크 인프라에서 현재보다 높은 수준의 KPI(예, delay, throughput, loss rate 등)를 제공할 수 있어야 하며, 이를 위한 인프라 규모와 복잡도가 더욱 증가하면서 제어 및 관리의 복잡도 및 난이도 역시 증가한다는 것을 주목할 필요가 있다. 망의 규모가 커지고 트래픽의 처리량이 많아질수록 운용자(operator)가 수행하는 제어 및 관리는 다음과 같은 도전(challenge)들에 직면하고 있다[5].

- 확장성: 수천~수만 개의 노드들로 이루어진 네트워크를 상호 연동하여 수억~수십억 개의 노드로 이루어진 대규모 인프라 서비스를 구현하는 경우 운용자에 의한 제어 및 관리가 불가능해진다.
- 신뢰성: 네트워크 인프라의 규모가 커지고, 처리할 트래픽의 양이 증가하면, 망 관리 시 운용자가 고려해야 할 경우의 수가 기하급수적으로 증가한다. 이러한 경우 운용자에 의한 제어 및 관리 방법에서 실수 또는 오류가 발생할 확률이 급격히 높아진다.
- 적응성: 대규모 네트워크 인프라 상에서는 수많은 노드와 단대단(end-to-end) 연결이 동시적으로 동작한다. 운용자 제어 및 관리 방식에서는 개별 사용자의 이동성(mobility), QoS 요구 수준의 변화에 기민하게 대응하여 이를 만족시키기 매우 어렵다.

자율네트워킹(autonomic networking)은 상기에 열거한 기술적 어려움을 타개할 해법으로 등장한 패러다임이다. 자율네트워킹 기술은 기존에 운용자가 직접 수행하던 망의 구성(configuration), 복구(healing), 최적화(optimization), 보호(protection) 등의 기능을 네트워크 인프라 스스로 수행하는 지능적 자가관리(self-management)를 통해 사람의 개입을 최소화하고 제어 및 관리를 자동화시키는 것이 목적이다. 즉, 망의 제어 및 관리 주체를 지능화된 네트워크 인프라 자체로 전환함으로써, 운용자 중심의 방법론이 가진 한계를 극복하고자 하는 것이다.

초기의 자율네트워킹 연구는 운용자가 망의 운영에 관한 지식, 규칙, 정책 등을 정형화된 형식(format)으로 제공하면, 이를 바탕으로 자동화된 제어 및 관리가 동작되도록 하기 위한 자가관리 프레임워크의 개발에 초점을 두고 있었다[6][7][8]. 최근에는 SDN/NFV 기반 네트워크 플랫폼에 인공지능/기계학습 기법을 접목함으로써 리소스의 동적 분할(slicing)이 가능한 망에 지능화된 제

어 및 관리를 제공하는 방향으로 진화하고 있는 추세이다[9][10].

본고에서는 자율네트워킹의 정의 및 개념을 소개하고, 2000년대 초반부터 지금까지 학계와 산업계에서 이루어진 중요한 프로젝트 및 표준화 활동을 살펴본다.

Ⅱ. 자율네트워킹의 정의 및 개념

자율네트워킹은 2001년 IBM에서 제안한 자율컴퓨팅을 네트워킹 분야에 도입한 개념으로 볼 수 있다. IBM은 자율컴퓨팅 시스템의 조건으로 네 종류의 자가관리 속성(self-management features)인 self-CHOP(Self-Configuration, Healing, Optimization, Protection)을 정의하였으며, 이를 구현하기 위한 참조 모델인 MAPE-K(Monitor, Analyze, Plan, Execute, and Knowledge) loop 모델을 제시하였다[5]. IBM에서 제시한 self-CHOP과 MAPE-K loop 모델은 이후 진행된 자율네트워킹 개념 정립 및 연구 과정에 상당한 영향을 미쳤다. 특히 self-CHOP은 대부분의 자율네트워킹 연구에서 그대로 차용되고 있다. 본 절에서는 자율네트워킹 시스템의 대표적 속성으로써 self-CHOP을 소개하고, 대표적인 두 가지 참조 모델을 소개한다.

1. Self-CHOP

IRTF의 NMRG(Network Management Research Group)에서는 self-CHOP을 구성하는 각 자가관리 속성들을 다음과 같이 정의하였다[8].

- **자가설정(Self-Configuration):** 망에 관한 지식을 바탕으로 네트워크 인프라가 사용자에게 제공할 각종 리소스의 구성 및 동작 파라미터를 스스로 설정하는 것이다. 여기서 지식은 인프라의 운영을 위한 정보의 집합을 지칭한다. 사용자 또는 사업자가 설정한 명령 또는 요구사항의 집합인 intent, 시스템이 동작하는 과정에서 습득한 데이터를 축적하여 만들어진 self-knowledge, 검색을 위한 discovery 과정까지 지식의 범주에 포함된다.
- **자가회복(Self-Healing):** 트래픽 인가량이 변화하거나, 사용자가 이동하는 등 다양한 상황 변화에 대응하여 리소스의 구성과 동작 파라미터를 스스로 적절하게 재설정(reconfigure)하는 속성이다. 각종 상황 변화는 망의 장애나 오동작을 유발할 수 있기 때문에, 이에 관한 회복 기능도 포괄한다.
- **자가최적화(Self-Optimization):** 네트워크 인프라의 사용자 또는 사업자가 요구하는 목표(예, SLA 충족률의 최대화, 단위기간당 OPEX의 최소화)를 달성하기 위해 리소스 구성과 동작 파라미터를 스스로 결정하는 기능이다.
- **자가보호(Self-Protection):** 네트워크 인프라가 자신의 리소스는 물론 자신이 포함하는 각종 데이터들을 악의적인 보안 공격으로부터 보호하기 위한 동작들을 수행하는 것이다.

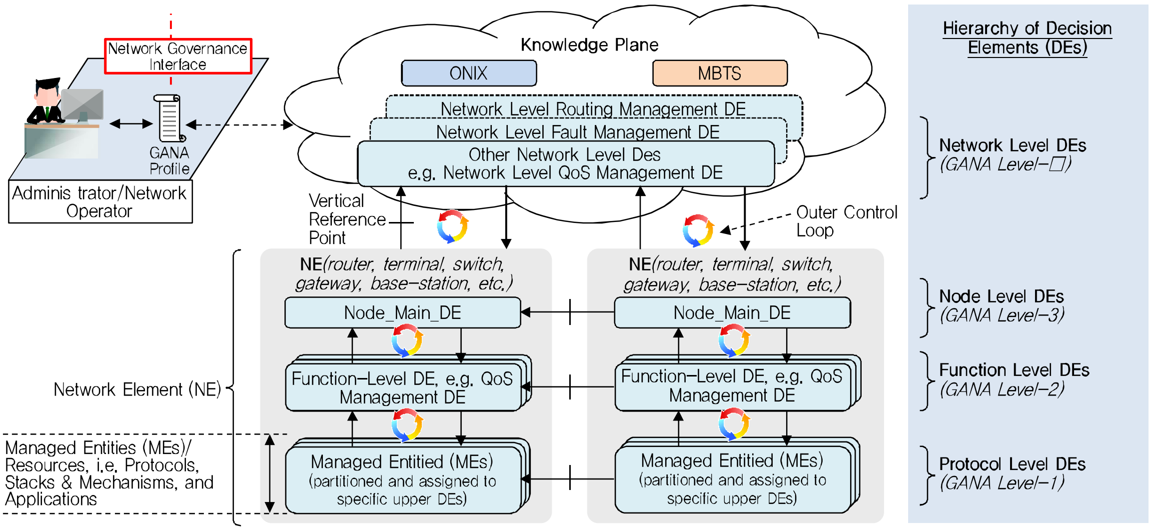
상기에 제시한 네 종류 외에도 자가구성(self-organization), 자가설계(self-planning), 자가복구(self-repair) 등의 유의어가 사용되기도 한다[6].

2. 대표 참조모델

자율네트워킹 참조모델은 상기에 기술한 self-CHOP을 만족시키는 네트워크 시스템의 구현을 위한 참고 사항을 제시한다. 본 절에서는 대표적 참조모델로써 ETSI(European Telecommunications Standards Institute) AFI의 GANA와 IETF의 ANIMA 모델을 소개한다.

가. GANA

GANA(Generic Autonomic Networking Architecture)는 ETSI AFI(Autonomic network engineering for the



(그림 1) GANA 참조모델[7]

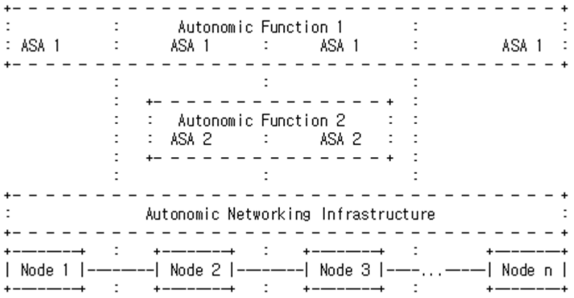
self-managing Future Internet) 그룹에서 제정한 개방형 참조모델로 2009년 표준화 작업이 시작되었다. AFI 그룹은 2011년 자율네트워킹을 위한 각종 요구사항(requirement), 유즈케이스(use case) 및 시나리오(scenario)를 정의하여 발표하였고[11], 2013년 GANA의 표준화 작업을 완료하였다[12]. GANA는 추상화된 DE(decision element)들을 논리적 계층 구조에 배치하는 형태이며, 특정 기술에 종속되지 않고 충분한 개방성을 지니도록 하였다.

(그림 1)은 GANA 참조모델을 도시하고 있다. GANA는 protocol, function, node 및 network으로 명명된 네 종류의 계층으로 이루어져 있다. 각 계층에는 각각의 목적과 역할에 따라 다양한 DE들이 위치하는데, 상위 계층 DE가 하위 계층 DE를 제어한다는 규칙을 따른다. 이 때 제어를 받는 하위 계층 DE를 ME(Managed Element)라고 한다. 예를 들어 function 계층의 QoS management DE는 protocol 계층의 TCP/IP DE가 IP 데이터 그램의 DSCP(Differentiated Services Code Point) 값을 설정하는 과정을 제어할 수 있다. 이 과정에서 ME(= TCP/IP DE)는 QoS management DE에게 제어 결과에 대한 다양한 피드백(예, 성공, 실패, 또는 KPI의 변화)을 제공함으로써 협력적 제어 루프(control loop)를 구성한다. 마찬가지로 function 계층 DE는 node 계층 DE의 제어에 따르고, node 계층 DE는 network 계층 DE의 제어를 따른다. 이들 역시 제어 루프 메커니즘을 통해 협력한다. Network 계층 DE는 노드(예, 스위치, 단말, 기지국 등) 내부에 위치하는 아래의 세 계층과 달리 분산시스템 형태로 만들어질 수 있으며, 인프라 사용자 또는 운영자의 intent를 전달받아 제어에 반영하는 지식 계층(knowledge plane)이 포함되어 있다.

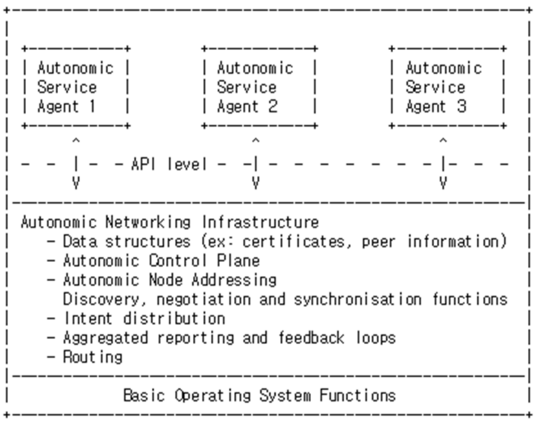
상기에 살펴본 바와 같이 GANA는 다양한 DE-ME 쌍(pair) 간의 제어 루프가 병행 동작하면서, 지식 영역의 intent를 만족시키는 형태로 self-CHOP 속성을 구현하도록 정의하고 있다.

나. ANIMA

IETF ANIMA(Autonomic Networking Integrated Model and Approach) WG에서도 자율네트워킹을 위한 참조모델을 연구하고 있다. GANA와 마찬가지로 ANIMA 참조모델 역시 특정 기술에 종속되지 않는 개방형 구조로 설계하는 것을 목표로 하고 있으며, 현재



(그림 2) ANIMA 참조모델[13]



(그림 3) ANIMA 참조모델—물리노드[13]

Internet Draft 작업과 논의가 진행되고 있다.

최근 Internet Draft를 참고[13]하면 ANIMA 참조모델[(그림 2) 참조]을 살펴볼 수 있다. ANIMA 참조모델에서는 self-CHOP 속성을 지닌 기능적 개체(예, 애플리케이션 또는 서비스)를 AF(Autonomic Function)라고 한다. AF는 하나 또는 여러 개의 ASA(Autonomic Service Agent)로 이루어지는데, 자율화 기능의 구현을 위한 단위 개체(예, 프로세스 또는 소프트웨어)로 볼 수 있다. (그림 3)은 ANIMA 참조모델을 노드 측면 (perspective)에서 도시한 것이다. ASA의 구현을 위해 필요한 기반기능들은 ANI(Autonomic Networking Infrastructure)에서 API 형태로 제공함을 알 수 있으며, ANIMA 참조모델의 AF는 여러 개의 노드에 분산된 ASA의 협업으로 구현된다는 점에서, GANA의 network 계층 DE와 유사성을 지니고 있다.

Ⅲ. 자율네트워킹 연구현황

1. 연구개발 현황

초기 자율네트워킹 연구는 유럽위원회(EC: European Commission) 산하의 EU FP(European Union Framework Programmes for research and technical development) 프로젝트들이 주도하였다. 이들은 2000년대 중반부터 self-CHOP 기능이 구현된 PoC 또는 테스트베드를 구축하기 위해 다각적 노력들을 진행하였으며 이들의 연구 결과는 앞서 소개한 GANA의 표준화에 반영되었다[7][11][12].

2010년 이후 클라우드, SDN, NFV 및 기계학습 기술이 발전하면서, 자율네트워킹 연구는 새로운 방향으로 진화하고 있다. 이는 SDN/NFV 기반 네트워크 인프라의 관리가 가상화 리소스의 동적 스케줄링 문제로 손쉽게 변환이 가능하다는 것에서 출발한다. 따라서 인공지능/기계학습을 활용하여 망의 동작과 사용자의 상황을 적절히 예측하고, 이를 바탕으로 NaaS에 할당된 리소스를 최적화함으로써 self-CHOP 속성을 제공할 수 있게 된다. 본 절은 SDN/NFV와 인공지능/기계학습 기술

〈표 1〉 자율네트워킹을 다룬 EU FP 프로젝트

프로젝트 명	사업명	연구내용
CASCADAS[14]	EU FP6	ACE(Autonomic Communication Element) 간 상호작용을 활용한 자가관리
ANA[15]	EU FP6	Function block 간 제어루프를 활용한 망의 자가관리
AutoI[16]	EU FP7	Overlay 망을 활용한 가상화 리소스의 자가관리
SOCRATES[17]	EU FP7	LTE 환경을 위한 자율네트워킹 구현
E3[18]	EU FP7	이기종 망을 위한 자율네트워킹 구현
4WARD[19]	EU FP7	가상화, ICN 및 자가관리 지원을 위한 새로운 망 구조의 제안

을 융합하는 최근의 사례들을 중심으로 서술한다 [9][10].

가. EU FP 프로젝트

EU FP 프로젝트에서는 FP6(2002~2006) 및 FP7(2007~2013)을 통해 다수의 자율네트워킹 연구 과제들을 지원한 바 있다.

<표 1>은 EU FP6 및 FP7 프로젝트들 중 자율네트워킹을 주제로 한 연구들을 선택하여 열거한 것이다. 해당 연구들은 제어하는 개체(controlling entity)와 제어받는 개체(controlled entity)를 분리하고, 이들간의 상호작용(예, 제어루프)의 형태로 자가관리 기능을 지원하고자 하는 공통점을 갖고 있다.

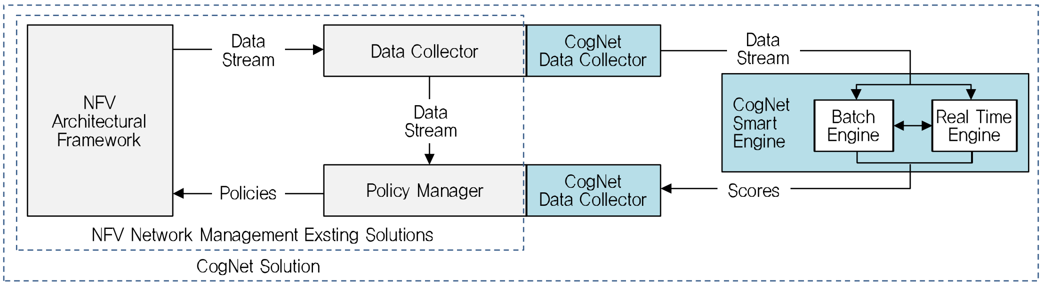
나. CogNet

EU FP의 기존 자율네트워킹 연구들이 self-CHOP 제공을 위한 구조적 혁신에 초점을 맞추었다면, 최근에는 자율네트워킹의 적응성, 유연성 및 지능성을 향상시키기 위한 연구들이 진행되고 있다. 대표적으로 5G-PPP(5 Generation Public-Private Partnership) phase 1 프로젝트 중의 하나인 CogNet(Cognitive Networks)을 들 수 있다[20]. CogNet은 SDN/NFV 형태의 망에서 수집한 다양한 형태의 정보(예, 망의 상태 변화, 사용자/사업자/트래픽 프로파일, QoS/SLA 설정 변화 등)에 인공지능 및 기계학습적 분석을 적용하고 이를 바탕으로 망 운영의 효율성, 응답성, 자율성 등을 향상시키는 것을 목적으로 한다[9].

(그림 4)에서 도시한 것과 같이 CogNet은 기존의 NFV 구조에 지능화를 위한 개체들이 추가된 형태로 구성되어 있다.

- CogNet data collector: 기존 SDN/NFV 인프라 관리 프레임워크로부터 다양한 정보를 수집한다.
- CogNet smart engine: CogNet data collector가 수집한 정보를 바탕으로 현재 인프라(또는 개별 가상화된 서비스 인프라)의 상태를 인식하거나, 향후에 발생할 상황을 예측한다. 이를 바탕으로 해당 상황에 대한 적절한 제어 및 관리 정책(policy)를 산출한다.
- CogNet policy manager: CogNet smart engine이 산출한 결과를 SDN/NFV 인프라 관리 프레임워크로 전달한다.

(그림 4)에서 도시한 바와 같이 CogNet smart engine은 다시 두 개의 하부 엔진으로 나누어진다. Batch engine은 수집한 관측 데이터와 전문가들이 입력한 피드백을 바탕으로 상황인지/예측/정책 등을 산출한다. 이 과정에서 CNN, RNN, SVM, subspace clustering, probabilistic regression 등과 같은 기계학습 알고리즘들이 활용될 수 있다. 반면 real time engine은 부가(optional) 요소로써 단기간의 데이터에 대한 실시간 추론이 필요한 상황을 동작한다[9].



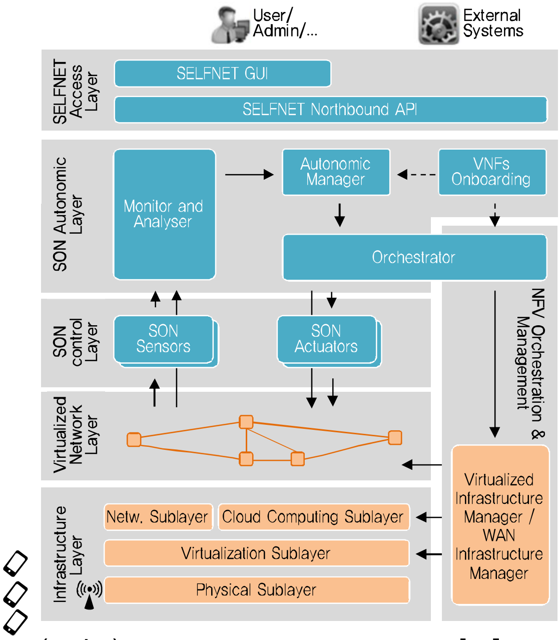
(그림 4) CogNet Architecture Overview[9]

CogNet 프로젝트는 2015년 7월 시작하였으며, IBM(아일랜드), Telefonica(스페인), Orange(프랑스), Interoute(이탈리아), Fraunhofer FOKUS(독일) 등을 포함한 11개의 기업, 공공연구소, 학교 등이 활발하게 참여하고 있다.

다. SELFNET

SELFNET 역시 5G-PPP phase 1 프로젝트 중 하나로 진행되고 있으며, CogNet과 마찬가지로 SDN/NFV 기술에 인공지능/기계학습을 결합하여 지능형 자율네트워크를 구성하는 것을 목적으로 한다[21].

인공지능에 의한 상황인지/예측/정책 산출에 무게를 둔 CogNet과 달리 SELFNET은 SDN/NFV 인프라와 지능형 엔진이 결합된 계층화 구조의 정의에 초점을 맞추고 있다. (그림 5)에 도시한 SELFNET의 계층화 구조도를 살펴보면, SON autonomic 계층이 CogNet의 지능화 플랫폼과 유사한 역할을 한다. Monitoring and analyzer와 autonomic manager는 CogNet의 data collector, smart engine 및 policy manager에 대응된다. 또한, access 계층에서는 관리자와 개발자를 위한 GUI와 northbound API를 제공하는 것을 볼 수 있다.



(그림 5) SELFNET Architecture Overview[10]

SELFNET 프로젝트는 2015년 7월에 시작되었으며, Eurescom(프랑스), InnoRoute(독일), Nextworks(이탈리아) 등 12개의 기업, 공공연구소 및 학교에서 연구에 참여하고 있다.

라. AT&T

미국의 망 사업자인 AT&T는 자사에서 운영하는 에지 클라우드에서 수집한 각종 데이터를 바탕으로, CogNet 및 SELFNET 프로젝트와 유사한 개념의 연구를 진행하고 있다[22]. AT&T에서 계획하고 있는 망 지능화의 특징은 다음과 같다.

- 망은 물론 사용자, IoT 기기 및 기타 시스템에서 다양한 형태의 데이터 수집.
- 분산시스템 및 심층 기계학습을 활용.
- 향후에 발생할(몇 분, 몇 시간, 몇 일 등을 포괄) 다양한 condition/event/threat을 미리 예측.
- 동작 중인 망에서 보안공격이나 성능저하가 발생할 지점을 미리 예측.
- 사용자의 리소스 요구량 증감을 미리 예측.
- 예측을 바탕으로 망의 설정을 동적으로 조절 (dynamic adjust).

AT&T는 장기적으로 자사가 사용하고 있는 망 관리 플랫폼인 ECOMP(Enhanced Control, Orchestration, Management, and Policy)[23]에 상기에 열거한 지능화 요소를 포함시키는 것을 목표로 하고 있다.

마. Netcracker

미국의 ISP/CSP 솔루션 전문사업자인 Netcracker는 업계 최초로 full-service NaaS를 구현하였다[24].

Full-service NaaS란 하나의 NaaS에서 기반망 서비스(enterprise/residential vCPE, SD-WAN)와 클라우드 애플리케이션(firewall, web filtering, optimization, on-demand bandwidth, cloud storage 등)을 동시에 제공하는 것을 말한다. 특히 Netcracker NaaS는 하부에 구현된 AVP(Agile Virtualization Platform and Process) 기법을 바탕으로 동작 중인 망에 대한 동적 재구성 기능을 탑재하고 있다.

Netcracker는 최근 망 시험 및 성능 보장 솔루션 사업자인 Netarounds와 합작하여 능동적 망 해석(active network analytics) 연구를 시작하였다[25]. 연구의 목적은 망에서 측정된 각종 데이터를 활용하여 NaaS 솔루션의 유연성을 높이고 동시에 관리의 자동화(automation)를 증대시키는 것이다. 이는 앞서 소개한 SDN/NFV의 지능화 연구들과 유사한 개념으로 볼 수 있다.

2. 표준화 활동 현황

본 절은 자율네트워킹 기술의 대표적 표준화 활동의 사례로 ETSI AFI GANA, IETF ANIMA 참조모델, 3GPP SON을 소개한다.

가. ETSI

자율네트워킹에 관한 ETSI의 대표적 표준안으로는 II-2절에서 설명한 GANA를 들 수 있다. GANA의 표준화는 2013년 완료되었으나, ETSI AFI 그룹을 중심으로 GANA의 활용성을 높이기 위한 후속 연구들이 진행되었다. 최근 발표된 GANA 백서에 의하면[26], Orange(프랑스), Verizon(미국), Telefonica TID(스페인), Fraunhofer Fokus(독일) 등이 AFI 그룹에 참여하고 있으며, GANA에 SDN/NFV 및 big-data 분석 기술을 융합함으로써 자율망의 유연성과 지능화를 높이는 방안을 제안하고 있다.

나. IETF

IETF의 자율네트워킹에 관한 대표적인 WG는 II-2절에서 설명한 ANIMA를 들 수 있다. ANIMA WG에는 Cisco, Juniper(미국), Nokia(핀란드), Huawei(중국) 등의 주요 망 장비 제조사들을 포함한 다수의 학계 및 산업계 기관들이 참여하고 있으며, 2014년 발족 이래 현재까지 ANIMA 참조모델에 대한 표준화를 진행 중이다. 특히 ANIMA WG 참여기관 중 일부는 IRTF NMRG에 참여하여 자율네트워킹과 기계학습의 결합에 관한 개념 연구도 병행하고 있다[8].

다. 3GPP

3GPP는 SON(Self-Organizing Network)이라는 자율네트워킹 규격안을 제공하고 있다. ETSI와 IETF의 표준안이 개방형 참조모델 형태로 설계된 것과 달리, SON은 3GPP 기술에 특화되어, 대부분 e-UTRAN의 성능 향상과 관련되어 있다. 〈표 2〉는 SON의 기능들을 자가관리 속성의 측면에서 분류한 것이다. SON은 3GPP release 8 규격부터 포함되었으며[27][28], Qualcomm, Cisco, AirHop 등의 주요 제조사들의 망 장비 역시 SON 기능을 제공한다[29][30][31].

〈표 2〉 자가관리속성 측면에서의 3GPP SON

자가관리속성	SON 기능
자가설정	ANR(Automatic Neighbor Selection) PCI(Physical Cell Identifier) 자동구성. CGID(Cell Global Identifier) 자동구성
자가회복	MLB(Mobility Load Balancing) MRO(Mobility Robustness Optimization) 비사용 cell의 switch-off RACH 최적화
자가최적화	결함 탐지 및 제거 자동화된 파라미터 조절 Joint capacity/coverage optimization MDT(Minimization of drive tests)

3. 기타 관련연구 현황

자율네트워킹 구현 시 programmable network 패러다임을 사용하면 인공지능/기계학습을 활용한 SDN/

NFV 인프라의 제어가 더 쉽고 유연해질 수 있을 것으로 예상된다. 다시 말해 가상 인프라 망의 설계 및 구성을 스크립트 프로그래밍의 형태로 수행함으로써 망 제어의 난이도를 낮추는 것을 의미한다. 이와 관련된 연구로는 EU FP7 프로젝트인 NetIDE[32]와 5G-PPP phase 1 프로젝트인 SONATA[33]가 있으며, 미국의 망 장비 회사인 Arista[34]에서 제작한 EOS(Extensible modular Operating System for software driven cloud networking)에서도 같은 개념을 도입하고 있다.

한국전자통신연구원에서는 4차 산업혁명에 능동적인 대응이 가능한 지능형 인프라 확보를 위하여 2017년 초연결 지능인프라 핵심기술 연구개발 사업을 착수할 예정이며, 주요 핵심기술로 자율네트워킹에 대한 연구를 계획하고 있다. 해당 사업에서는 초연결 지능 인프라를 위한 인공지능 기반 자율관리 및 제어 핵심 기술에 대한 연구 개발이 진행될 예정이며, 네트워크 및 에지 클라우드로 구성되는 5G 또는 초연결 인프라에 대한 자율관리 기술을 확보하는 것을 목표로 하고 있다.

Ⅳ. 결론

본고에서는 네트워크 인프라에 대한 제어와 관리를 운용자가 아닌 망이 스스로 수행하는 개념인 자율네트워킹의 연구동향에 대해 살펴보았다. 초기의 연구들이 자율네트워킹을 위한 자가관리 기능의 탑재에 집중했다면, 최근의 연구들은 SDN/NFV 기반 플랫폼에 인공지능/기계학습을 결합하여 네트워킹 인프라의 유연성과 지능성을 극대화시키는 방향으로 변모하고 있다.

초연결성과 사물인터넷의 시대를 맞아 기반 네트워크의 기능 및 성능 요구사항은 더욱 높아지고, 리소스의 효과적인 제어 및 관리가 중요한 이슈가 될 것으로 예상된다. 따라서 유연하고 지능적인 인프라 관리의 핵심이 될 자율네트워킹 기술의 확보를 위한 노력이 필요할 것이다.

약어 정리

API	Application Programming Interface
CNN	Convolutional Neural Network
CSP	Communication Service Provider
EC	European Commission
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
GUI	Graphical User Interface
IETF	Internet Engineering Task Force
IoT	Internet-of-Things
ISP	Internet Service Provider
KPI	Key Performance Indicator
NaaS	Network-as-a-Service
NFV	Network Function Virtualization
OPEX	Operational Expenditure
QoS	Quality-of-Service
RNN	Recurrent Neural Network
SDN	Software Defined Network
SD-WAN	Software Defined Wide Area Network
SLA	Service Level Agreement
SVM	Support Vector Machine
vCPE	virtual Customer Premise Equipment
WG	Working Group

참고문헌

[1] 이정아 외, “초연결 사회를 견인할 IoT 데이터화(Datafication) 전략,” 한국정보화진흥원 IT & Future Strategy 보고서, 제1호, 2015. 3. 20.

[2] M. Weiser, “Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing,” *The Communications of ACM*, vol. 36, no. 7, Jul. 1993, pp. 75-84.

[3] G. Marques et al., “A Survey on IoT: Architectures, Elements, Applications QoS, Platforms and Security Concepts,” Advances in Mobile Cloud Computing and Big data in the 5G Era, vol. 22, Nov. 2016, pp. 115-130.

[4] Cicso Systems, Inc., “Visual Networking Index: Forecast and Methodology,” 2014-2019 White Paper, 2015.

[5] 유재형 외, “미래인터넷을 위한 자율 네트워킹 및 관리 기술 연구동향,” 한국통신학회지, 제31권 제6호, 2014. 5, pp. 23-31.

[6] K. Tsagkaris et al., “A Survey of Autonomic Networking Architectures: Towards a Unified Management Frame-

work," *International Journal of Network Management*, vol. 23, no. 6, Nov/Dec. 2013, pp. 402-423.

[7] R. Chaparadza et al., "Implementation Guide for the ETSI AFI GANA Model: a Standardized Reference Model for Autonomic Networking, Cognitive Networking and Self-Management," IEEE GLOBECOM Workshop on Management of Emerging Networks and Services, Dec. 2013, pp. 935-940.

[8] M. Behringer et al., "Autonomic Networking: Definitions and Design Goals," Network Management Research Group IETF RFC 7575, June 2015.

[9] L. Xu et al., "CogNet: A Network Management Architecture Featuring Cognitive Capabilities," *European Conference on Networks and Communications*, June 2016, pp. 325-329.

[10] P. Neves et al., "The SELFNET Approach for Autonomic Management in an NFV/SDN Networking Paradigm," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 12, no. 2, pp. 1-10.

[11] ETSI GS AFI 001 V1.1.1: Group Specification Autonomic Network Engineering for the Self-Managing Future Internet (AFI); Scenarios, Use Cases and Requirements for Autonomic/Self-Managing Future Internet.

[12] ETSI GS AFI V1.1.1: Group Specification 002: Autonomic Network Engineering for the Self-Managing Future Internet (AFI); GANA Architectural Reference Model for Autonomic Networking, Cognitive Networking and Self-Management.

[13] M. Behringer et al., "A Reference Model for Autonomic Networking," IETF Internet Draft, July 2016.

[14] http://acetoolkit.sourceforge.net/cascadas/cooperations.php

[15] http://www.ana-project.org/

[16] http://www.autoi.ics.ece.upatras.gr/autoi/index.php

[17] http://www.fp7-socrates.eu/

[18] A. Kaloxylos et al., "The E3 Architecture for Future Cognitive Mobile Networks," *IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Sept. 2009, pp. 1601-1605.

[19] http://www.4ward-project.eu/

[20] http://www.cognet.5g-ppp.eu/

[21] https://selfnet-5g.eu/

[22] http://www.telcotransformation.com/author.asp?section_id=401&doc_id=725283

[23] http://www.telcotransformation.com/author.asp?section_id=401&doc_id=725007

[24] https://www.netcracker.com/naas/

[25] http://www.telecomasia.net/content/netrounds-teams-nec-netcracker-active-network-analytics

[26] T. B. Meriem et al., "GANA - Generic Autonomic Networking Architecture: Reference Model for Autonomic Networking, Cognitive Networking, and Self-Management of Networks and Services," ETSI White Paper No. 16, Oct. 2016.

[27] 3GPP TS 32.500, "Telecommunication Management; Self-Organizing Network (SON); Concepts and Requirements.

[28] 3GPP TS 32.511, "Telecommunication Management; Automatic Neighbor Relation (ANR); Management; Concepts and Requirements.

[29] https://www.qualcomm.com/invention/research/projects/small-cells/ultrason

[30] http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/small-cell-solutions/white-paper-c11-730877.html

[31] http://airhopcomm-web.com/eson-suite

[32] http://www.netide.eu/

[33] http://www.sonata-nfv.eu/

[34] http://www.arista.com/en/products/eos