



AI 네트워크 해외 동향 (지능형 사이버 물리 생태계 구축을 위하여)

| 작 성 | KAIST 최준균 (jkchoi59@kaist.edu)

- 『AI Network Lab 인사이트』는 인공지능, 클라우드, 5G, 양자암호통신 등 4차 산업 혁명의 핵심인 지능정보기술과 네트워크 신기술에 대한 동향을 간략하고 심도 있게 분석한 보고서입니다.
- 본 연구보고서는 과학기술정보통신부의 방송통신발전기금조성사업, 한국정보화진흥원의 『초연결 지능형 연구개발망 구축·운영사업』의 연구과제 결과이며, 한국정보화진흥원에서 기획·발간합니다.
- 본 연구보고서의 내용의 무단 전재를 금하며, 가공·인용할 때는 반드시 출처를 『한국정보화진흥원(NIA)』이라고 밝혀 주시기 바랍니다.

발 행 처 한국정보화진흥원

발 행 인 문용식

기 획 한국정보화진흥원 지능형인프라본부 인프라기획팀

보고서 온라인 서비스 www.nia.or.kr

Contents

요약

(1) AI 네트워크 해외 동향 요약	4
----------------------------	---

주요 내용

(1) 기존 네트워크의 문제점 및 새로운 네트워크 연구 필요성	8
(2) ITU-T의 Network 2030 및 Machine Learning 연구 동향	9
(3) Compute First Networking 연구 동향	11
(4) In-Network Computing 연구 현황	13
(5) Yang 네트워크 모델 연구 동향	16
(6) 결론 및 향후계획	18

요 약

- 최근에 인공지능 기술이 본격적으로 네트워크에 탑재되는 상황에서 기존 네트워크의 구축 개념과 서비스 형태는 근본적으로 변화를 맞이하게 되었다. 본 고에서는 AI 네트워크 해외 연구 동향에 대하여 간략히 소개한다.
- 미래의 새로운 네트워크 요구사항은 기존의 인터넷 프로토콜 기술로는 근본적으로 해결하기 어려운 문제가 있기 때문이다. 이는 인터넷은 end-to-end transparency 또는 universal connectivity 라는 개념으로 단말 간에 연결성을 제공하기 위해서 중간에 어떠한 형태의 인위적인 개입을 하는 것을 금지하는 것을 가장 기본적인 원칙으로 삼고 있기 때문이다.
- 더구나 현재 인터넷은 데이터 전달과 연결성 측면에서는 효과적이지만, DDoS (Distributed Denial-of-Service) 공격을 방어하거나, 자율 주행차나 산업용 인터넷 등과 같이 망운용자나 서비스 운영자가 필요한 운영관리 기술 (Operational Technology)을 지원하기는 사실상 한계에 이르렀다고 생각하는 것이다.
- 그동안 가장 큰 성공요인이었던 인터넷의 어드레싱 체계와 Domain Name Service (DNS)가 이제는 가장 장애요인이 되고 있다는 것이다. 간단히 살펴보면 현재의 IP 어드레스 체계는 사실상 라우팅을 위해서 사용을 못하고 (지역별 운영 관리개념이 들어간 Autonomous System을 사용), DNS도 보안에 취약해서 Dark Web 등장을 막을 수 없고, Private DNS의 등장을 어쩔 수없이 허용할 수밖에 없는 상황이 지속되고 있기 때문이다.
- 최근에 네트워크 연구자들은 미래 새로운 네트워크 수요를 바라보면서 최근에 가장 주목을 받고 있는 인공지능/머신러닝 기술을 어떻게 활용할 지에 대한 본격적인 연구를 시작을 하고 있다. 이는 ITU-T 가 먼저 연구를 시작을 했으나 최근에 IETF 그룹과 항상 같이 모이는 IRTF (Internet Research Task Force) 연구 그룹에서도 활발하게 진행되는 것은 아이러니이다. 왜냐하면 인터넷의 문제를 해결하기 위해 인공지능/머신러닝을 탑재하는 연구는 전통적인 인터넷 전문가 들을 매우 당황하게 만들고, 거부감을 느끼게 만들기 때문이다. 싱가포르에서 개최된 IETF 106 회의에

서 주요 자문 그룹인 IAB 내부 회의에서도 인터넷에 인공지능/머신러닝을 탑재하려는 활동을 제한할 수 없다는 결론을 내리기까지 수많은 의견 수렴을 하고 많은 내부적 논쟁이 있었다는 사실이다.

- 인터넷 전문가 들은 현재 인터넷이 세계 전역에서 너무 광범위하게 사용하고 있기 때문에 쉽게 교체를 할 수 없다는 사실은 누구나 다 알고 있다. 그러나 그들은 인터넷과 비슷한 시기에 활발하게 성장한 web 프로토콜이 HTML4 이후에 10년 이상이 지난 후에 (그 당시 수 십만개 이상의 응용 프로그램과 수십억 개의 거의 모든 Web 페이지는 HTML4를 기반으로 하고 있었음) 모든 비즈니스가 모바일 중심으로 가는 상황에서 HTML4는 더 이상 지속하기 불가능하다고 판단하고, HTML4 기반으로 개발된 수 억개 이상의 소프트웨어를 버리고 성공적으로 HTML5로 전환한 사례를 주목하였다. 세상의 전부를 가졌다고 해도, 미래의 새로운 수요를 제대로 받아들이지 못한다면 이제는 과감하게 이별을 생각을 해야 할 시점이라는 것이다. 이러한 논쟁에 더욱 불을 붙인 것이 중국이 “New IP”를 해보자고 ITU-T에 새로운 제안한 것이다. 현재 ITU-T에서 FVCN (Future Vertical Communication Network)라고 명명하고 표준화 작업을 시작하고 있다.
- 2019년 말 Cisco에서 Silicon One 이라는 칩셋을 공개를 하였는데 100 Gbps 및 400 Gbps 광이더넷 인터페이스를 가지고 최대 10 Tbps까지 처리가 가능한 라우팅 칩을 공개했다. 그 당시 Cisco는 이는 NPU (Neural Processing Unit)이라는 인공지능 처리가 가능한 통신사업자용 라우터로 사용할 수 있는 최초의 칩 세트라고 소개했다.
- 그러나 HTML5 성공의 요인을 분석하여 보면 사용자 인터페이스나 응용 서비스는 어떠한 변화도 없이 새로운 네트워크로 전환할 수 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 굳이 인터넷의 문제점을 해결하기 위한 많은 노력을 할 필요 없이 인공지능이 결합된 새로운 네트워크 설계가 가능하다는 생각이다.
- ITU-T에서는 네트워크에 지능을 탑재하기 위해 관련 국제 표준화 활동을 주도하고 있으며, 학계에서는 IRTF를 중심으로 활발하게 연구를 진행 중이다. 기술 개발 측면에서 Cisco의 차세대 스위칭 칩과 Nvidia에서 GPU가 결합된 것 같은 차세대 네트워크용 AI 칩을 개발 중이며, 현재 테라급 테스트베드를 구축하여 필드 시험을 진행 중이다.
- 현재 수 만명 이상의 연구 인력이 기존 인터넷에 연연하지 않고, 네트워크에 인공

지능 기술을 탑재하려고 실질적인 실험에 나서고 있다. 전송 용량은 최소 1000 배 이상이면서 구축비용은 거의 비슷하고, 운영관리 비용은 최소화하면서, 더구나 인간 수준의 인공지능이 탑재되면 기존 네트워크를 완벽하게 대체할 수 있다는 것이다. 즉, 인공 지능 네트워크에 대한 테스트가 성공을 하면 기존 네트워크는 전면 교체를 할 수 있다는 가정하에 새로운 실험에 나서고 있는 것이다.

- 미래 네트워크는 IoT 서비스 같이 수십 옥텟 정도의 작은 트래픽에서, 대용량 데이터 서버간이나 초고화질 비디오 트래픽같이 수 십 테라바이트를 순간적으로 전달해야 한다. 더구나 어떤 때는 1 ms 이하의 아주 작은 latency가 필요한 상황에서 TCP/IP 프로토콜과 구글이 제안한 QUIC 프로토콜만으로는 해결이 제한적이라는 것이다. 즉, 종단 간 연결성에만 집착하는 인터넷은 한계가 있으며, 클라우드 플랫폼을 포함하여 네트워크 내부에서 뭔가를 도와주기를 기대하고 있는 것이다.
- 참고로 전 세계적으로 네트워크 연구의 주 관심 대상의 변화는 다음과 같은 상황 변화에 기인한다. 지난 10 여 년 동안 클라우드 컴퓨팅 가격이 약 1/1000 이하 절감이 되었으며, 데이터 처리 비용도 1백만분의 1로 줄어들었다. 또한, 네트워크와 컴퓨팅 성능 측면에서 클라우드 저장 능력은 1000 배가 향상되었고, CPU 처리 능력도 200 배 이상 그리고 네트워크 전달 능력은 10 배 정도 향상되었다. 이러한 이유로 인해 네트워크를 설계함에 있어 물리적인 광케이블 선로를 포설하고, 무선 기지국을 설치하는 것을 제외하고, 스위치나 라우터에 메모리 용량을 증가시키고 컴퓨팅 능력을 탑재하는 것은 거의 비용적인 고민을 할 필요가 없어졌기 때문이다.
- 즉, 과거에는 네트워크 비용이 만만하지 않아서 망을 이중화하거나 우회 경로를 구성하고, 장비를 이중하고, 폭주 제어등과 같은 네트워크 효율을 높이는 데 많은 노력을 했다면, 이제는 네트워크 비용이 혁신적으로 줄어들었기 때문에 망 시설을 과도하게 over-provisioning을 하는 것에 대한 우려가 크게 줄어들게 된다는 것이다.
- 미래 네트워크 설계의 주요 관심이 그동안 통신사업자들의 주요 관심사인 망 효율 보다는 교통, 의료, 에너지, 환경 및 국방 등과 같은 산업 네트워크 요구사항을 만족시키는 데로 이동을 하는 것이다. 또한, 네트워크 구축비용에 대한 관심이 줄어든 대신에 Cyber Physical System 과 같은 복잡한 시스템에 대하여 원격에서 실시간 제어와 확실한 운영관리를 하는 것이 더욱 중요해지고 있다. 더구나 네트워크가 더 이상 통신사업자만의 비즈니스 대상이 아니고, 미래 지식정보화 사회를 위한

모든 산업의 인프라가 되어야 한다는 것이다.

- 인간에 의존하던 네트워크 운영관리를 이제는 되도록 인공 지능 알고리즘을 써서 다양한 이상 상황에 대응하면서도 전체 비용을 낮추기를 원하는 것이다. 또한, 인공 지능 기술은 미국을 중심으로 시작된 Cyber Physical System (CPS) 개념의 핵심이다. (주) Gartner 그룹에는 이를 Industry 4.0 전략에 대비하여 Digital Twin 이라고 명명함.
- CPS란 스마트 도시, 스마트 교통, 스마트 그리드, 및 원격 의료 산업 등에 가장 적합한 물리적 시스템과 사이버 컴퓨팅 능력을 결합된 사이버 물리 시스템이다. 이는 전통적인 시스템보다 동일한 서비스 환경에서 훨씬 더 구축 비용이 저렴하고, 운영 비용이 거의 들지 않으면서, 게다가 인간의 지능에 버금가는 인공 지능 알고리즘이 탑재하는 것이다. 따라서 기술적인 측면과 경제적인 측면에서 전통적인 산업 사회의 모든 시스템은 CPS 개념으로 진화할 수 밖에 없다.
- 인공 지능 기술이 네트워크에 탑재가 되면 앞으로 10 년 이내에 동일한 성능의 네트워크 비용은 약 1/1000 이하로 낮아질 것으로 예상된다. 그러나 100 억 개 이상의 IoT 기기와 산업용 원격 감시 및 제어 장치가 늘어나면서 전체적인 네트워크 수요는 크게 증가할 것이라는 것이다. 즉, 미래 새로운 네트워크가 구축이 되면 네트워크 성능은 최소한 100 배 이상 증가하면서 통신비용은 최소한 1/10 이하로 줄어든게 될 것이다. 그러나 전체적인 네트워크 트래픽 수요는 최소한 1000 배 이상 늘어날 것이다. 네트워크 비용 부담의 주요 요인이 바뀌고 있는 상황에서 미래 네트워크 요구사항을 근본적으로 다시 생각해야할 시점이라는 것이다.
- 새로운 시대변화에 맞추어서 네트워크를 고도화하는 노력은 단순히 정보통신 산업이 아니라 우리나라의 모든 산업 인프라 경쟁력의 근본이 되기 때문에 국가차원에서 적극적인 대응을 해야 할 것이다. 인공 지능 네트워크 인프라는 미래 국가 경쟁력을 근본적으로 바꿀 것이다.

주요 내용

(1) 기존 네트워크의 문제점 및 새로운 네트워크 연구 필요성

- 현재 네트워크 업계에서는 굳이 인터넷의 문제점을 열거하지 않더라도 네트워크를 통하여 DDoS 공격이나 스팸 메일 등과 같은 비정상적인 트래픽에 대한 대응이나 미래 신규 서비스 수요 발굴 측면에서 현재와 같은 인터넷 구조는 효과적이지 않다고 생각하고 있다. 특히, 광 네트워크 위에 스위칭/라우터 망을 탑재하고, 그 위에 Firewall 등을 사용하여 바이러스나 스팸 메일을 찾아내는 현재와 같은 인터넷 망은 미래의 지식정보화 사회에 더 이상 적합하지 않다고 보고 있다. 이는 클라우드 플랫폼과 인공지능 기술을 탑재할 수 있는 장기적인 미래 망구조를 다시 생각할 필요성을 제기하고 있다.
- 미래 네트워크의 설계 방향은 사용자 서비스 측면에서 개인 보안이나 악의적인 행위를 사전에 차단하고, CPS 등과 같은 미래 새로운 네트워크 수요를 발굴하기 위해서 최신 인공지능 기술을 포함하여 수많은 응용 소프트웨어를 탑재할 수 있는 형태로 바뀌는 추세이다. 즉, 통신 산업이 아니라 미래의 지식 정보통신 인프라를 요구하는 모든 산업 (교통, 의료, 교육, 에너지, 환경 및 국방 등)을 대상으로 사용자 측면의 다양한 데이터 유형과 지능형 소프트웨어를 탑재할 수 있는 새로운 네트워크가 필요한 것이다.
- 그동안 통신망과 서비스 지원 시스템들은 사용하고 있는 자원 (Resource) 들의 상황 (특히 Context와 Content에 관련된)에 인지를 충분히 하지 못하고 있었다. 이는 전체적으로 망과 서비스 품질의 저하 및 운영의 비효율성을 야기 시키고 있는 주요 원인이 되고 있다. 이를 위한 해결 방안의 하나로 통신망과 서비스 시스템에 AI/ML (Artificial Intelligence/Machine Learning) 기능을 탑재함으로써 이를 해결하고자 하는 것이 AI 네트워크 구축의 주요한 요인 중의 하나이다.
- 지금까지 네트워크 사업자의 주 관심 대상이었던 트래픽 엔지니어링 기술에 대한 근본적인 재 성찰이 요구되고 있다. 예를 들면, 네트워크 가상화 기술이라 하더라도 (망 사업자 들은 네트워크 슬라이싱 기술과 함께 네트워크 운영 효율을 높이기 위해 중요하게 생각할 지는 모르지만) 사용자 서비스 요구사항을 만족하는 것이

아니라면 이의 필요성을 다시 돌아 봐야 한다는 것이다. 즉, 트래픽 엔지니어링은 사용자의 서비스 측면에서 유익해야 한다는 것이다. 예를 들면, 악의적인 행위 차단을 위해서 이상한 트래픽을 분리하거나 적절한 감시를 하고, 사이버 테러나 재난, 사고 등을 예방하기 위해서는 수 ms 이내에 원인을 식별할 수 있도록 지원되어야 한다. 또한, 분산된 클라우드 환경에서 수천 페타플롭스 수준의 고성능 데이터 분석을 할 수 있어야 하고, 미연의 사고를 예방을 할 수 있도록 지원할 수 있는 고성능의 사용자 맞춤형 트래픽 엔지니어링이 가능한 인공지능이 탑재된 네트워크가 필요한 것이다.

(2) ITU-T의 Network 2030 및 Machine Learning 연구 동향

- 현재 인공지능 네트워크에 대한 연구는 ITU-T 산하의 주요 FG NET-2030, FG-ML5G 포커스 그룹과 IETF/IRTF의 cfn (Compute First Networking) 및 coin (Computing in the Network) 연구 그룹에서 진행 중이다.
- ITU-T에서는 미래의 새로운 네트워크에 대한 연구로, 우선 5G 네트워크를 구축하면서 네트워크 구조에 인공지능/머신러닝 알고리즘을 탑재하기 위한 FG-ML5G (Focus Group on Machine Learning for Future Networks including 5G) 그룹을 결성하여 운영한 바가 있다. 이 그룹의 구성 및 운영 이유는 다음과 같다.
- 물리적인 광선로나 무선 기지국을 제외하면 새로운 인공지능이 탑재된 네트워크는 비용 측면에서 기존 네트워크보다 경제적이고, 더구나 인공지능 알고리즘이 지속적으로 탑재가 되면 빠른 시간 내에 기존 네트워크는 새로운 인공지능 네트워크로 전면 교체가 가능할 것이다. 현재와 같이 국제간에 5G 네트워크 구축 경쟁이 시작이 되면, 5G 무선망에 Edge computing을 탑재하여 machine learning 알고리즘에 대한 기술 검증을 수행할 수 있으며, 이를 통해 수 년 이내에 모든 5G 네트워크에는 인공지능 알고리즘을 탑재할 수 있을 것이다. 이후 모든 네트워크 인프라에 인공지능 알고리즘의 탑재가 가능하게 될 것이다.
- 현재와 같이 기존 인터넷을 중심으로 계층적으로 네트워크를 구축하는 것은 미래의 새로운 산업에는 더 이상 적절하지 않으며, 특히 공장 자동화나 자율 주행 자동차와 같은 자율운영 환경 등에는 한계가 있다. 또한, 현재 활발히 구축하고 있는

5G 백본망의 구조로는 더 이상 적합하지 않다는 판단에 기인한다. 또한, AR/VR (Augmented Reality/Virtual Reality)이나 큰 용량의 미디어를 전달하거나 DDoS 공격 등이나 타 산업 네트워크와 상호 접속 측면에서는 더 이상 현재의 인터넷은 적합하지 않다.

- 더구나 기존 인터넷은 데이터 전달 측면에서는 효과적이나, 점점 더 중요해지고 있는 네트워크와 서비스에 대한 운영관리 기술 (Operational Technology)에는 매우 취약하기 때문에 다양한 보완적인 수단이 필요하다. 더구나 스마트 시티나 스마트 그리드 같이 수 억 개의 IoT 센서와 수 만대 이상의 시스템 들이 접속하고, 실시간으로 운영관리를 해야 하는 상황은 더 이상 전통적인 인터넷 기술로는 곤란하다.
- 현재 인터넷 망 운영의 기본이 되고 있는 IPv4/IPv6 어드레싱 방식은 망 운영자나 응용 서비스 사업자 측면에서 효과적이지 않다. 이는 인터넷 라우팅을 위해서도 실질적으로는 AS (Autonomous System)를 사용하고 있으며, IPv4/IPv6 주소는 사실상 사용자 확인이나 최종 도메인 내의 라우팅을 위해만 필요하다는 현실적인 문제점에 기인한다. 더구나 현재 스마트 폰은 E.164 전화번호 체계를 사용하고 있고, 다른 산업 망이나 응용 서비스망은 각자의 ID 체계를 가지고 있어서, 현재 인터넷의 어드레스 체계는 전혀 도움이 되지 않는다. 더구나 IPv6 어드레스의 뒷부분은 바코드/QR 코드같이 물류 체계에 대한 국제표준과는 전혀 호환이 되지 않는다. 또한, 라우팅 알고리즘 측면에서 글로벌 망 운영 사업자의 경우 국제 및 국내 타 망과 상호 접속을 하거나 연결 경로를 선택함에 있어서 보안이나 접속 비용 측면에서 다양한 경로를 선택하기를 원한다. 이에 따라 지금까지 인터넷 전문가들이 개발한 전통적인 라우팅 알고리즘인 RIP, OSPF나 BGP 표준은 그대로 사용할 수가 없고, 실질적으로 망 운영상황에 따라 수정해서 사용하고 있다는 사실이다. 이는 인터넷 프로토콜을 설계한 사람들이 universal connectivity라는 원칙에 너무 집착한 나머지 서비스 사용자와 망 운영자의 상황을 제대로 대응하지 못한 결과라고 할 것이다. (아이러니한 사실은 IETF의 보드 멤버, IAB 자문 그룹 그리고 IRTF 연구그룹에서 이러한 현 인터넷의 문제점을 지적을 하자 IETF 전문가들이 가장 강렬하게 거부 반응을 보인 것이다.)
- 보안과 Trust 측면에서 현재 인터넷 보안 프로토콜은 근본적으로 해결책이 아니라는 것이다. 즉, 네트워크를 이용하고, 전달하고, 중계하는 주체에 대한 신뢰가

없이 인터넷 프로토콜만으로 보안 문제가 해결되지 않는다는 것이다. 더구나 초기부터 end-to-end transparency 개념 아래 보안 측면을 생각하지 않고 인터넷을 설계한 것은 근본적으로 결함을 가지고 태어난 것이라고 볼 수 있다. 즉, 미래 응용 서비스나 새로운 네트워킹 수요를 현재 인터넷 철학으로는 더 이상 수용할 수 없다는 것이다. 마치 곤충이 커가면서 몸에 맞지 않으면 탈바꿈을 하는 것처럼 지난 40 년 동안 단일 표준을 통하여 성공을 거둔 인터넷은 미래 지식 정보화 사회에서는 더 이상 맞지 않는다는 사실이다.

- 폭주 제어, 부하 분산, 실시간 멀티미디어 전송, 및 우선 순위 제어 등과 같이 망 내부에 적절한 제어가 필요한 경우 인터넷 프로토콜은 대부분 실질적인 망 적용에 실패를 했다. 그동안 수많은 라우팅 알고리즘과 폭주 제어 알고리즘 등이 표준화되었지만, 실질적인 망에 제대로 적용된 사례를 찾기는 매우 어렵다. 이에 따라 대부분 통신사업자들은 실질적으로 망을 운영을 하면서 상황에 따라 바꾸어 사용하고 있다. 최근에 연구되고 있는 인공지능 알고리즘이 각광을 받는 이유는 망 사용자 뿐만 아니라 망 운영자로 하여금 운영 경험을 축적하고, 각 네트워크 상황에 맞추어서 학습을 하면서 점점 고도화를 해줄 수 있기 때문이다.
- 최근에 ITU-T에서 새로운 네트워크를 설계하자는 기고서가 TSAG (Telecommunication Standards Advisory Group) 회의에서 많은 논란이 된 이유는 상기한 테라급 인공지능 네트워크에 대한 실험 결과를 바탕으로 하고 있다. 이들은 현재의 인터넷이나 기존 이동 통신 기술만으로는 미래의 지식 정보화 사회의 서비스 요구사항을 만족할 수 없다고 주장하는 것이다.
- ITU-T에서는 5G망을 기반으로 필요한 망 운영 및 서비스 관점에서 제기되는 문제점을 Machine Learning (ML) 알고리즘을 중심으로 해결하기 위해 ML/5G 글로벌 챌린지를 현재 진행 중이다. 새로운 회기가 시작되는 2021년부터 ITU-T 각 Study Group에서는 담당 영역별로 AI/ML 활동을 위한 표준화 작업을 진행할 것으로 예측한다.

(3) Compute First Networking 연구 동향

- IRTF 연구 그룹 중 Compute First Networking (CFN) 연구 그룹은 네트워크에 컴퓨팅 능력을 탑재하여 어떻게 인공지능 알고리즘을 적용할 지에 대한 연구를 시작

하였다.

- CFN 연구와 관련하여 통신사업자가 네트워크 업체와 협력하여 최근에 3 도시를 연결하는 1 단계 테스트를 완료한 상태로 파악된다. 이는 최신 인공지능 기술을 새로운 네트워크 환경에서 실험한 최초 사례이다. 이는 마치 기존 시속 300 Km 수준의 고속 열차를 미국의 하이퍼루프를 능가하는 시속 1천 Km 이상을 달릴 수 있는 초고속 열차로 전환하기 위해 최초 테스트베드를 구축했다고 생각할 수 있다.
- CFN의 초기 목표는 컴퓨팅 능력이 강화된 새로운 네트워크를 설계할 때 필요한 기술을 파악하는 것이다. 즉, 네트워크에 인공지능 기술을 탑재할 경우 기존 서비스뿐만 아니라 미래 새로운 서비스를 수용할 수 있는 지에 대한 연구이다. 또한, 기존 네트워크에서 제대로 해결을 못한 네트워크 장애, 부하 분산, 및 폭주 제어 문제 등을 인공지능 알고리즘으로 해결할 수 있는 지 확인하는 것이다. 또한, 인터넷 서비스 중에 가장 큰 문제였던 멀티캐스트나 방송 트래픽을 수용하는 기능을 CFN 개념으로 해결의 가능성을 확인하는 것이다.
- CFN에 대한 연구는 과거에 개념적으로만 연구된 Content-Centric Networking (CCN) 기술 중에 Named data networking (NDN) 기술과 유사하다. 기존의 인터넷이 목적지 IP 주소로 라우팅을 하였다면, 테스트 중인 새로운 네트워크는 목적지를 인공지능으로 분석할 수 있는 어떠한 형태의 패킷도 (즉, IP 패킷이 아니라도) 라우팅을 할 수 있는 형태로 연구하고 있다. 예를 들면, 목적지가 IP 주소뿐만 아니라 URI/URL 형태나 web repository (Web 상의 기업체 명칭이나 서비스 명칭 등) 형식, ISSN/ISBN 번호, 기타 다양한 ID 수단을 포함하여 웹에서 사용하는 다양한 key word 검색 등과 같이 인공지능 알고리즘을 접목하여 목적지가 확인만 되면 데이터 전달이 가능한 방식이다.
- 이러한 연구를 가능하게 하는 전략적 배경 중의 하나는 미래 네트워크는 조그만 무선 센서를 포함하여 이동 환경이 중심이라서 어차피 유선 인터넷을 중심으로 설계된 인터넷 망에는 더 이상 집착할 필요가 없다는 사실에 기인한다. 그동안 이동 통신망이 가입자 휴대폰과 인터넷 망 사이에 터널링을 통한 접속 경로를 제공하는 지극히 제한적인 상황이었는데 반해, 인공지능의 도움을 받으면 더 이상 인터넷 프로토콜에 집착할 필요가 없는 상황이 될 수 있다.
- CFN 연구가 중요한 것은 이론이 아니라 실질적인 실험을 하고 있다는 사실이다.

과거에 개념적으로만 연구하던 단계를 넘어서서 인공지능 알고리즘을 탑재하여 새로운 네트워크 실험을 실행했다는 것이다. Cisco가 2019년도에 발표한 Silicon One을 통하여 10 Tbps 급 스위칭 수준을 뛰어넘어서 인공 지능 알고리즘까지 탑재하면서 테라급으로 스위칭과 전송 실험을 하고 있다는 데 의미가 있다.

- 이는 AI 네트워크 기술은 테라급 스위칭 칩 기술과 슈퍼컴퓨터 수준의 인공지능/머신러닝 알고리즘 탑재가 가능한 TPU/GPU (Tensor Processing Unit/Graphics Processing Unit) 기술이 결합한 것이다. 본 기술 기반의 인공 지능 네트워크는 5G 무선망의 채널 할당이나 핸드오버 등과 실시간 제어를 적용하는 것뿐만 아니라, 기존 네트워크에서의 라우팅이나 트래픽 제어 문제를 상당한 수준으로 격감할 수 있을 것으로 예상된다.
- 더구나 스마트 시티, 스마트 교통, 원격 의료 및 스마트 그리드 등과 같은 네트워크 인프라는 훨씬 더 복잡하고, 서로 다른 도메인 간에 수많은 stakeholder 간에 연결을 해야 하기 때문에 단순히 기존 네트워크를 확장이나 개선을 통해서 해결하기에는 한계가 있을 수 밖에 없다. 반면, 인공지능 알고리즘이 탑재된 네트워크를 통해서 근본적으로 새로운 시도를 할 수 있는 여건이 조성될 수 있다는 것이다. 더구나 인공지능이 탑재된 네트워크가 기존 네트워크보다 훨씬 더 경제적이라는 분석 결과는 더욱 이러한 연구를 촉진시킬 수밖에 없는 충분한 이유가 되고 있다.
- 그러나 새로운 인공지능이 탑재된 네트워크가 기존 망을 완벽히 교체하는 것은 아직 기술적으로 완전하지 않은 것으로 보인다. 기존 네트워크를 고도화하기보다는 별도의 새로운 네트워크를 구축해서 테스트하는 것이 현 단계에서는 가장 효과적이라고 판단하고 있는 듯 하다. 즉, 별로 사용하지 않거나 비용대비 효과가 별로 없는 기존 서비스를 인공지능 네트워크에 수용하기 보다는 차라리 새로운 서비스 수요를 대비하는 것이 적절하다고 판단하는 것이다. 이는 CPS 같은 새로운 생태계가 출현하고, 수천 가지 이상의 다양한 서비스 시나리오에 대하여 우리나라가 인공지능 네트워크를 개발하기 위해서 어떠한 노력을 해야 하는 지에 대한 방향을 제시해주는 것이라 생각된다.

(4) In-Network Computing 연구 동향

- In-network computing은 IRTF의 COIN (Computing in the Network) working

group에서 주로 연구하고 있으며 중국과 독일이 가장 열심히 활동하고 있다. 이는 대규모의 병렬 처리 컴퓨팅 구조를 네트워크 스위칭/라우팅 구조와 직접 결합하면 네트워크 성능이 혁신적으로 향상시킬 수 있을 것이라는 기대에 기인하는 것이다. 궁극적으로 인간 지능 수준으로 테라급 라우팅을 할 수 있는 네트워크를 개발하기 위한 핵심 기술을 파악하려는 것이다.

- 이는 기존 네트워크 환경에서 광전송 채널을 통하여 전달된 데이터가 라우터로 입력되면 Optical/Electrical 신호 변환을 하면 1/100 이하로 성능 저하가 일어나며, 더구나 라우팅 경로를 갑자기 변경하거나 컴퓨팅 능력의 도움을 받으면 성능이 더욱 떨어지게 된다. 그러나 네트워크 시스템에 병렬처리 컴퓨팅 기술을 적용하면 테라급 이상으로 고속 전달/스위칭 하는 것뿐만 아니라 테라급 이상으로 지능형 컴퓨팅 처리가 가능하다.
- 그동안 네트워크 내부에 탑재된 각종 버퍼나 스토리지 장치는 망에 입력되는 트래픽 속도, 라우팅하는 속도와 목적지에 전달하는 트래픽 속도의 불일치 문제를 해결하고, 나아가 네트워크 전체의 부하 분산과 폭주 제어를 하도록 탑재하였다. 그러나 최근에 Cache나 CDN (Content Delivery Network)과 같은 네트워크 상에 스토리지 장치는 단순히 트래픽 엔지니어링 측면만이 아니라 사용자의 트래픽 수요를 미리 예측을 하거나 반복된 행위를 할 때 적절한 위치에 데이터를 미리 가져다 놓는 것과 같은 지능적인 처리를 위한 목적으로 용도 변환을 하고 있다. 즉, 인공지능 기술을 도입한 물류센터와 마찬가지로 네트워크 내부의 스토리지는 컴퓨팅 기술과 결합 시에 인간의 행동 패턴과 비즈니스 상황을 미리 예측하고 대비할 수 있는 고도의 지능화된 네트워크가 될 수 있다는 것이다. 마찬가지로 다양한 시스템 오류나 이상 상황을 사전에 예측하여 전체적인 네트워크의 가용도와 신뢰도를 획기적으로 개선할 수 있다.
- In-network Computing 기술은 다양한 인공 지능 알고리즘과 분산 네트워킹 기술을 결합해야 한다. 인공지능 알고리즘은 대부분 대규모 병렬처리를 요구하기 때문에 스위치나 라우터가 분산 병렬 처리 구조를 갖도록 하면 직접 결합을 할 수 있다.
- 참고로, 최근에 Nvidia가 최근에 전세계 4 위 수준의 기업으로 등극한 이유는 컴퓨팅 처리 능력에 가장 큰 장애였던 메모리 액세스 속도를 기존 CPU 레지스터 속도로 올리고 (최소한 10 ~ 100 배 이상으로), 병렬 처리 기술을 동시에 탑재한

GPU 칩 기술을 보유하기 때문이다. 또한, 병렬처리 소프트웨어 솔루션을 일반에 공개하면서 최신 인공 지능 알고리즘을 탑재하기에 가장 좋은 플랫폼을 제공하였기 때문이다. 일반적으로 CPU 성능을 높이기 위해 통상적으로 인텔처럼 CPU 코어 수를 늘려서 해결하려고 하였지만, Nvidia의 경우는 컴퓨터 내부에 register 형태의 메모리를 적용하여 ALU (Arithmetic Logic Unit) 로직을 동시에 수천 코어로 병렬 처리를 할 수 있는 GPU (Graphics Processing Unit) 기술을 통하여 성능을 혁신적으로 향상시켰다. 더구나 GPU의 병렬 처리 구조는 대부분 인공 지능 알고리즘의 처리 구조와 매우 유사하여 AI/ML 기술 분야에서는 Nvidia가 제시한 솔루션이 가장 유리하다.

- 이러한 GPU의 성공 사례를 네트워크 설계에도 동일하게 적용하려고 시도한 것이 In-Network Computing의 핵심 개념이라 할 수 있다. 이는 전통적인 네트워크에서는 종단 간에 일대일 통신이나 일대다 또는 멀티캐스트 통신망으로만 생각해 왔던 개념을 깨고, 지리적으로 분산된 토폴로지를 갖는 네트워크를 대규모로 비정형화된 분산 컴퓨터로 생각을 할 수가 있으며, 그 위에 인공지능 알고리즘까지 처리할 수 있는 대량 분산 컴퓨팅 기술을 스위칭 칩과 결합할 수 있다는 것이다.
- 이러한 새로운 네트워크 개념이 성공을 하면 네트워크는 더 이상 네트워크가 아니고 수십억 명의 인간과 수 억 개의 기업과 수백만 개의 플랫폼을 수용할 수 있는 전세계에 어디나 퍼져있는 “분산형 인공지능 슈퍼컴퓨터”라고 봐야 할 것이다. 이런 경우, 각 개인이나 기업은 자체 대형 전산 서버나 네트워크 접속 장비 없이도 간단한 스마트폰이나 스마트 패드만 가지고도 항상 바로 옆에 슈퍼컴퓨터를 사용하는 것과 같은 효과를 갖게 될 것이다.
- GPU와 NPU로 대변되는 새로운 칩 설계 기술이 네트워크 기술과 결합이 되면 전통적인 네트워크 엔지니어링 문제를 크게 고민하지 않으면서, 동일한 비용으로 최소한 1000 배 이상 빠른 새로운 네트워크를 만들 수 있다. 더구나 이러한 In-Network Computing 기술은 단순히 컴퓨터와 통신 산업뿐만 아니라 미래 스마트 시티, 지능형 교통, 스마트 그리드, 및 물류 산업 인프라에 필요한 CPS (Cyber Physical System) 기술의 핵심이 될 것으로 기대되고 있다.
- 컴퓨팅 기술은 하둡이나 텐서플로우 같은 대규모 병렬처리 컴퓨팅 기술을 시작으로 인간 두뇌와 비슷하게 비정형화된 내부 처리 구조와 분산 인터페이스를 수용할 수 있도록 아주 다양한 형태로 개발되고 있다. 이와 더불어 크게 5 가지 유형으로

구분되고 있는 인공지능/머신러닝 알고리즘 들이 전세계적으로 현재 수 만 곳 이상에서 운용중인 시스템이나 응용 플랫폼 탑재하기 위해 실험 중에 있다. 그럼에도 불구하고 아직 수 만개 이상의 IoT 센서 데이터를 수집하면서 클라우드 플랫폼을 갖는 분산 네트워킹 환경에 필요한 실시간 인공지능 알고리즘을 실질적으로 시장에 내놓기 위해서는 아직도 많은 후속 연구가 필요한 것으로 생각된다.

(5) Yang 네트워크 모델 연구 동향

- Yang 데이터 모델은 약 10 여 년 전에 IETF에 제안하여 작업이 시작이 되었으며, 이러한 표준화 작업은 네트워크 장비를 설계하고, 실질적인 운영관리 경험을 바탕으로 제안한 것이다. 지금까지 사람들이 네트워크를 구성하는 수 천대 이상의 스위칭 및 라우터 장비를 포함하여 모든 네트워크 장비의 운영 상태를 모니터링해 왔다. 네트워크 운영관리를 위해 인공 지능 알고리즘을 탑재하기 위해서는 망 자원에 대한 데이터 표준이 필수적이다. Yang 모델은 네트워크에 인공지능 알고리즘을 탑재하기 위해서는 반드시 선행되어야하는 데이터 표준에 관한 모델이다.
- 이는 Web에서의 RESTful (Representational State Transfer) 개념과 유사하다. 참고로 RESTful API는 웹을 통하여 어떠한 객체라도 가장 쉽게 제어할 수가 있어서, IoT 기기나 수 억 개의 소프트웨어들이 RESTful API만 제공을 하면, 누구나 가장 단순한 방법으로 IoT 기기나 시스템을 제어할 수가 있다. 또한, 어떠한 소프트웨어 패키지도 소스 코드를 통합해서 다시 compile하지 않고도 바로 mashup할 수 있으며, 어떠한 솔루션도 간단하게 syndication을 해서 상호 Win-Win 할 수 있는 방안이다.
- 그동안 네트워크 사업자 폐쇄적으로 운영하던 네트워크 장비를 Yang 모델에 따라서 표현을 하면 상기한 RESTful 프로토콜의 강점을 모두 활용을 할 수 있다. 이러한 장점은 개발이나 운영관리가 아주 쉬워지는 장점이 있는 반면에 누구나 네트워크 장비를 구성하여 자체적으로 망을 구축 및 운영을 할 수도 있게 된다는 것이다. 즉, 통신사업자만이 소유하고 운영 관리하던 폐쇄된 환경이 없어질 수도 있다는 것이다.
- Yang 모델은 네트워크를 구성하는 모든 리소스는 XML이나 JSON 형태의 데이터 모델이 표현이 되면, 원격지에 손쉽게 해당 네트워크 장비의 운영 상태를 확인할

수가 있고, 필요한 제어를 할 수가 있다. 현재는 네트워크의 대부분 장비와 플랫폼 환경에 대하여 Yang 데이터 모델을 적용하는 표준이 완료되었으며 수십 건의 RFC가 출간되었다.

- 이러한 Yang 모델이 중요한 이유는 모든 망 자원을 개방한다는 점에 있다. 전통적으로 네트워크 운영관리를 위해서는 TMN (Telecommunication Management Network) 개념의 SNMP (Simple Network Management Protocol)로 망 관리하는 방식으로 망 운영관리자에게 모든 것을 의존하는 방식이다. 모든 네트워크 자원 (resources)들은 망 운영관리자가 정한 MIB (Management Information Base)라는 형태로만 액세스가 가능하였다. 그러나 Yang 모델을 적용하면 Web의 RESTful 개념으로 누구나 아주 간단하게 어떠한 망 장치도 동작되는 상태를 확인이 가능하고, web을 통하여 운영관리를 할 수 있게 된다.
- 네트워크 운영관리 상황은 항상 주기적인 패턴이 나타나기 때문에 특정 지역이나 특정 장비에서 트래픽 폭주나 나거나 오류가 나면 그 다음 날도 비슷한 상황이 발생될 가능성이 높기 때문에 이러한 상황을 인공지능 알고리즘을 적용하면 아주 쉽게 해결할 수 있고, 더구나 시간이 지나면서 인공지능 알고리즘이 학습을 하게 되면 사람이 운영 관리하는 것보다 훨씬 더 효과적으로 네트워크 이상 상황에 대처할 수가 있으며, 인간의 개입을 최소화하면서 최적으로 네트워크를 운영을 할 수 있게 된다.
- 결론적으로 Yang 데이터 모델이 중요한 이유는 기존에 복잡한 토폴로지나 다양한 네트워크 장비로 구성된 네트워크라고 하더라도 인공지능 알고리즘의 도움을 받아서 망 운영관리를 위해서는 모든 네트워크 장치의 자원들이 Yang 모델로 표현되어야 한다. Yang 모델은 상기한 CFN이나 In-network Computing 기술과 상호 보완적이기 때문에 미래 지능형 네트워크 구축을 위한 전략적 요소의 하나로 판단되어야 할 필요가 있다.
- 한가지 중요한 사실은 인공지능 알고리즘은 미래 네트워크 연구에서 2 가지 측면에서 접근을 해야 한다는 것이다. 시스템을 설계하는 사람은 시스템이 효과적으로 운영을 할 수 있도록 인공 지능 알고리즘을 탑재한다. 그러나 수많은 장비와 솔루션을 가지고 네트워크를 구성하는 망 운영자나 응용 서비스 사업자는 실질적으로 서비스를 하면서 운영경험을 축적하고, 노하우를 지속적으로 학습시킬 수 있는 인공지능 알고리즘이 필요하다는 것이다. 즉, 시스템 개발자가 고민하는 인공 지능

알고리즘과 망 운용자가 고민해야하는 인공지능 알고리즘 사이에는 많은 차이가 있을 수 있다는 것이다. 지금까지의 인공 지능 알고리즘이 학계나 시스템 개발자들만 고민이자 주체였다면, 향후에는 CPS와 같은 복잡한 시스템을 운영하는 시스템 운영자가 필요로 하는 인공지능 알고리즘을 파악하고 이를 어떻게 개발해야하는지를 보다 긴밀한 소통을 통해 정확하게 파악하고 개발해야 할 것이다. 최근에 DevOps라는 개념으로 개발과 운영을 결합하려는 노력도 있지만 인공 지능 알고리즘 연구도 동일한 고민을 해야 한다. TMN과 같이 전통적인 망 운영관리를 기반으로 인공지능 알고리즘을 연구하는 방향은 구현성, 실효성 및 효율성 측면에서 의문이 제기되는 방식이라고 생각된다.

(6) 결론 및 향후 계획

- 미래에는 통신망에 인공지능을 탑재하는 것뿐만 아니라 도시에 운행되고 있는 자율 주행 자동차나 에너지를 공급하는 스마트 그리드 망에도 동일한 방식으로 인공 지능 알고리즘이 탑재될 것으로 예상된다. 즉, 미래의 국가 경쟁력을 가름하는 새로운 지표는 그 나라의 인공 지능 네트워크 인프라를 어떻게 구축하느냐를 통해서 판단될 수 있다는 것이다.
- 이러한 관점은 전 세계적으로 수천 명의 박사급 연구 인력이 네트워크를 지능화하는 데 투입되어 있으며, 더구나 실질적인 환경에서 테스트베드를 구축하여 인공 지능 알고리즘을 필드에서 직접 시험하고 있다는 사실을 통해서 확인할 수 있다.
- 지구상에서 70 억 명의 사람이 동시에 사용하는 인간이 만든 가장 큰 시스템이 네트워크이다. 가장 운영하기가 어렵고 복잡한 네트워크를 인공 지능이 탑재된 네트워크로 전환한다는 것은 과거의 초가집에 살던 사람이 인간과 비슷한 수준의 지능 가지고 모든 편리한 기능이 탑재된 뉴욕에 100 층짜리 호텔에 이사간 듯한 느낌을 받게 될 것이다.
- 더구나 네트워크에 인공 지능을 성공적으로 탑재를 하고나면, 자율주행 자동차와 같은 자율운영 환경은 물론 공장이나 물류 기업, 스마트 도시, 그리고 스마트 에너지를 공급하는 대부분 인간의 생태계가 단계적으로 인공 지능 알고리즘을 탑재할 수 있는 환경으로 전환하게 될 것으로 예상된다.
- 따라서 세계 각국에서 인공지능 네트워크를 새롭게 설계하려는 시도는 결코 단순

히 네트워크 산업 자체에만 한정된 것이 아니라 모든 산업의 인프라를 인공 지능이 탑재된 환경으로 전환을 하는 출발점으로 인식하는 것이 중요하다고 하겠다.

- 네트워크의 인공 지능화 및 인공지능 네트워크 구축의 파급 효과는 단순히 네트워크 인프라에 그치지 않고, 교통, 의료, 에너지, 환경, 물류 및 국방 등 모든 산업에 인공 지능이 탑재된 새로운 미래 생태계를 만드는 것의 시작점이 될 것이라는 것이다. 따라서, 우리나라도 인공지능 네트워크에 대한 연구를 조속하게 시작을 해야 할 것이다.
- 이와 같은 관점에서 현재 정부에서 추진하는 디지털 뉴딜 정책의 핵심도 모든 산업의 디지털화가 아니라 인공지능 화라는 관점에서 생각하고 추진전략을 수립해야 할 것으로 생각한다.

※ 시사점

- 기존 음성 및 이미지 처리에만 사용하던 인공지능 기술이 5G 무선 네트워크와 새로운 네트워크를 설계하는 데 본격적인 연구가 진행되면, 현재 네트워크 대비 동일한 비용으로 최소 1000 배 이상 성능을 가지며, 인간의 삶과 비즈니스를 바로 옆에서 도와주는 개인 비서와 같은 네트워크를 갖게 되는 것이다.
- 또한, 네트워크 장비를 JSON이나 XML같은 기본적인 YANG 데이터 표준이 적용되면 구글이 공개한 TPU (Tensor Processing Unit) 3.0 이상의 성능을 네트워크에 탑재할 수 있다.
- 이러한 새로운 네트워크 개념은 전통적인 네트워크 구조와 프로토콜 체계를 와해시킬 수 있을 것이며, 스마트 시티, 스마트 교통, 원격 의료, 및 스마트 그리드 생태계까지 인공지능을 도입하게 함으로써 인간이 지금까지 겪어 보지 못한 새로운 미래 지식 생태계를 구축하게 될 것으로 예측되는 바, 이를 맞이할 준비를 서둘러야 할 것으로 생각한다.
- 세계 선진국에서는 이러한 새로운 네트워크에 대한 연구가 진행되고 있으며 일부에서는 이를 실질적인 비즈니스 현장에 투입하기 위한 마무리 단계가 실험 중이라는 사실이다.

참고 문헌

- [1] American Artificial Intelligence Initiative: Year one Annual Report, The White House, Office of Science and Technology Policy, February 2020
- [2] Artificial Intelligence and Future direction for ETSI, 1st edition - June 2020
- [3] Focus Group on Technologies for Network 2030, <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Pages/default.aspx>
- [4] Focus Group on Machine Learning for Future Networks including 5G, <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ml5g/Pages/default.aspx>
- [5] Computing in the Network Research Group (conrg), <https://datatracker.ietf.org/rg/coinrg/about/>
- [6] Framework of Compute First Networking (CFN), draft-li-rtgwg-framework-00.txt, May 2020
- [7] A report on compute first networking (CFN) Field Trial, draft-gu-rtgwg-cfn-field-trial-01.txt, June 2020
- [8] "Framework for evaluating intelligence levels of future networks including IMT-2020," ITU-T Y.3173, February 2020
- [9] "Architectural framework for machine learning in future networks including IMT-2020," ITU-T Y.3172, June 2019
- [10] "Machine learning in future networks including IMT-2020: Use cases," ITU-T Supplement 55, October 2019
- [11] "Richard Li, Alexander Clemm, Uma Chunduri, Lijun Dong, Kiran Makhijini, New IP Framework and Protocol for Future Applications," ACM Sigcomm 2018, August 2018
- [12] <https://en.wikipedia.org/wiki/YANG>
- [13] YANG -A data modeling language for the network configuration protocol (netconf), IETF RFC6020, October 2010