

차세대 사물인터넷에 대한 고찰

Direction of Next-Generation Internet of Things

최신 네트워크 기술 동향
특집

- I. 서론
- II. IoT 주변의 환경 변화
- III. IoT-AI 매시업
- IV. 결론 및 향후 계획

박준희 (J.H. Park, juni@etri.re.kr)	IoT 연구본부 책임연구원/기술총괄
손영성 (Y.S. Son, ysson@etri.re.kr)	IoT 연구본부 책임연구원
박동환 (D.H. Park, dhpark@etri.re.kr)	IoT 연구본부 책임연구원
김 현 (H. Kim, hyunkim@etri.re.kr)	IoT 연구본부 책임연구원/본부장
황승구 (S.K. Hwang, skhwang@etri.re.kr)	IoT 연구본부 책임연구원/소장

The role of Internet of Things (IoT) has been evolving from connectivity to intelligent and autonomous functions. The increase in the number of connected things and the volume of data has revealed the limit of cloud-based intelligent IoT. Meanwhile, the development of microprocessors for the IoT has enabled their intelligent decision making and reactions without the intervention of the cloud; this phase is referred to as the "autonomous IoT era." However, intelligence is not the only function of the IoT. When a cyber physical system (CPS) is running on the cloud, the real-time synchronization between the real and virtual worlds cannot be guaranteed. If a CPS is running on the IoT, both the worlds can be synchronized closely enough for a zero- time gap, i.e., achieving the goals of autonomous IoT. ETRI implements intelligence into the role of IoT and collaborates their decision making and reactions without the intervention of humans. Then, we focus on the development of a new IoT computing paradigm that enables human-like discussions.

* DOI: 10.22648/ETRI.2019.J.340101

* 본 고는 한국전자통신연구원 정부출연금 연구사업 「사물-사람-공간의 유기적 연결을 위한 초연결 공간의 분산 지능 핵심원천 기술」의 일환으로 수행된 연구임.



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

1. 서론

IoT는 기술인가? 개념인가? 패러다임인가? 아니면, 모든 것을 다 포함하고 있는 용어인가? 그 구별이 중요한 것은 아닐 수 있지만, 최근의 분위기를 보면 가끔씩 혼동이 되곤 한다. 굳이 그 혼동을 바로잡기 위한 목적은 아니더라도, 과거와 현재, 미래로 이어지는 IoT의 흐름과 추세를 살펴보는 것도 의미는 있지 않을까?

위키피디아의 설명[1]에 따르면, 1982년 미국의 카네기멜론대학에서 코카콜라 자동판매기를 네트워크에 연결하면서 ‘인터넷에 연결된 기기’의 개념이 시작되었고, 현재의 IoT와 같은 철학과 비전은 1989년 Mark Weiser가 출간한 그 유명한 유비쿼터스 컴퓨팅에 대한 논문 [2]에서 정립되었다고 한다. 반면, ‘IoT: Internet of Things’라는 용어는 RFID를 통해 공급망을 관리하는 시스템을 만들고자 했던 P&G사가 1999년에 처음 사용했다고 한다[3].

그 시작이 누구였건, 그 개념적 차이가 무엇이건, IoT라는 용어가 사실상 대중적으로 활용되기 시작한 것은 2010년대가 들어서라 해도 크게 잘못된 것은 아닐 것이다. 혹자는 IoT의 시작을 RFID/USN이라고 주장하기도 하지만, 또 다른 주장은 이 기술들은 IoT의 이전 세대 기술이라고도 한다. 본고에서는 후자의 주장을 받아들이고자 한다.

IoT라는 용어가 본격적으로 활용되기 시작하던 1세대 IoT(1.0)는 연결형 IoT라 할 수 있다. 다양한 무선통신 기술들이 가진, 센서 등의 말단(Endpoint)기기에 내장되면서 선이 없이 통신이 가능한 시대가 열린 것이 대중적 IoT 시대를 촉발하였다. IoT 1.0의 특징은 ‘연결’ 그 자체였다. 연결되지 않던 것들을 연결하는 것, 그리고 연결되면서 생겨나는 장점의 활용과 문제의 해결이 1세대 IoT의 핵심 기술이었으며, 연결을 통해 발생하는 혁명적 효과는 수 많은 서비스의 기회를 제공하며, IoT의 확산을 촉진하면서 IoT를 자연스럽게 다음 단계로 진화

시키기에 충분했다.

2세대 IoT(2.0)는 지능형 IoT라 할 수 있다. IoT의 확산이 몰고 온 사물의 폭증은 기존에 유례없는 데이터의 폭발로 이어졌고, 유사한 시기에 관심을 모으던 클라우드, 빅데이터 기술 등과 함께 4차 산업혁명의 핵심 기술로 주목을 받게 된다. 원격에서의 모니터링과 제어에 맞춰져 있던 1세대 IoT의 역할에도 클라우드에 빅데이터를 공급해주는 역할이 추가된다. 그러나, 사물의 관점에서 보면, IoT 2.0의 기술은 IoT 1.0의 기술과 큰 기능적 차이는 찾아볼 수 없다. 1세대에 개발된 기술들 - 즉, 기기를 연결하는 통신 기술, 기기를 관리하고 서비스와 연결하는 플랫폼 기술 등 - 의 기술적 범주를 벗어나지 못하고, 클라우드, 빅데이터, 인공지능 등의 첨단 기술에 데이터를 공급하는 ‘데이터의 시추선’으로 전략하는 듯하다. IoT가 기술인가? 하는 회의적인 질문이 나오는 이유도 새로운 기술적 진화가 보이지 않는다는 점이 한 몫 하고 있을 것이다.

그러나, 최근의 IoT 주변에서 감지되고 있는 변화의 시그널은 사물의 관점에서 새로운 기술적 진화가 요구되는 다음 세대, 즉 IoT 3.0의 시대가 도래하고 있음을 느끼게 하고 있다. 그렇다면, 다음 세대의 IoT는 어떤 모습으로 다가올 것이고, 어떤 역할과 어떤 기술을 요구하고 있는가?

본고에서는 사물인터넷의 변화에 대한 시그널을 공유하고, 새롭게 요구되는 기술이 무엇인지를 논해보고자 한다. 또한, 이와 관련하여 ETRI에서 IoT의 미래를 위해 어떤 준비를 하고 있는지 연구하고 있는 내용을 간략히 소개하고자 한다.

II 장에서는 사물인터넷과 관련된 주변의 거시적인 흐름과, 이에따라 요구되는 변화를 공신력있는 리서치 기관의 분석 자료를 통해 정리해 보고, III 장에서는 이러한 흐름에 있어서 ETRI의 중점 개발 기술에 대해서 간략히 소개하고, 마지막 장에서는 향후의 기술적 방향성에 대해서 전망해본다.

II. IoT 주변의 환경 변화

산업간 경계가 허물어진 지는 이미 꽤 오래 지난 느낌이다. 구글이 자율주행 자동차 기술을 이끌고 있고, GE가 디지털 트윈 기술을 기반으로 SW 기업으로 거듭나고 있다. 또한, 인공지능 기술은 모든 산업과 기술에 영향을 미치고 있다. 이런 파괴적 혁신의 혼돈 속에 IoT와 관련된 환경은 무엇이고, 어떻게 변화하고 있을지에 대한 시작점을 찾는 것은 간단한 일은 아닐 듯하다.

IoT의 관점에서는 다행스럽게도 그 단초는 바로 IoT의 확산에서 찾아볼 수 있다. IoT의 활용이 확산, 즉 사물이 인터넷에 연결되는 속도가 빨라지면서, 사물의 수가 기하급수적으로 증가하였고, 이로 인하여 데이터가 폭발적으로 늘어났으며 이 현상은 현재진행형이다. 2021년까지 전세계에 설치된 연결된 사물의 수가 250억 개에 이를 것으로 예측하고 있는 가트너[4]의 예측치를 포함하여 조사기관마다 그 수치의 차이는 있으나, 공통적으로 사물의 증가를 예측하고 있다. 또한, 시게이트사에서 IDC에 의뢰해서 조사한 연구결과[5]에 따르면 2016년 16 제타바이트 수준의 연간 데이터 발생량이 2025년에는 163 제타바이트로 매년 30% 수준의 폭증세를 유지할 것으로 예측하고 있다. 특히, 발생하는 데이터의 비중을 보면 사물의 비중이 전체의 80%를 차지할 것으로 예측한 점은 시사하는 바가 크다 하겠다.

이와 같은 사물과 데이터의 폭증은 많은 기회를 제공하고 있지만, 반면 디지털 복잡도(연결의 복잡도, 컴퓨팅의 복잡도 등)를 높이는 부작용도 함께 불어오고 있다. 이는, 클라우드 중심 중앙 처리의 부담과 실시간 대응의 한계점을 노출하고 있고, 많은 문헌에서 이의 대안으로 엣지의 중요성을 강조하고 있다.

사물의 증가가 가져온 또 다른 효과는 사물에 내장되는 마이크로프로세서의 발전이다. 초기 IoT를 주도한 인텔, ARM 등의 칩제조사들은 기하급수적으로 늘어나는 사물에 자사의 칩을 공급하기 위한 무한경쟁을 하면서

더 작고 효율적인 마이크로프로세서의 개발에 매진해 왔다. 마이크로프로세서 발전의 확고한 한 축은 다양한 수요처에 최적화된 프로세서의 성능 고도화이며, 사물의 기능과 역할의 스펙트럼을 획기적으로 넓히는 효과를 가져올 것으로 보인다. 특히 최근에는 전통적인 사물 프로세서인 MCU(Micro Control Unit)와 더불어 GPU(Graphics Processing Unit), 그리고 학습에 최적화된 NPU(Neural Processing Unit)가 융합된 지능형 SoC(System on Chip)의 기술 발전에 주목할 필요가 있다.

데이터 폭증의 이면에는 데이터에 대한 관심이 있다. 데이터 분석 기술의 발전은 데이터가 할 수 있는 일의 범위를 획기적으로 변화시켰다. 특히, 아날로그 현실세계를 디지털 공간에 복제하여 살아 움직이게 하는 시도가 진행 중이며, 이를 통해 다양한 경제·사회적 효과를 만들어내는 디지털 트랜스포메이션(DX: Digital Transformation)에 대한 관심이 높아지고 있다(사실 이미 진행 중이다). 자사가 공급하던 수많은 엔진을 하나의 사물로 보고 이들의 정보를 실시간으로 가상세계에 복제하여 차원 높은 예측과 유지보수 서비스를 제공하는 GE는 이러한 흐름을 선도하는 대표적인 예라 할 수 있다.

본 장에서는 엣지, 마이크로프로세서, DX의 관점에서 IoT주변의 환경변화를 좀 더 자세히 살펴보고자 한다.

1. 엣지의 부상

엣지(Edge)라는 용어는 시스코 IoT 그룹의 로베르토 데라모라 수석 이사가 2014년에 포그(Fog) 컴퓨팅을 설명할 때 사용하면서 활용되기 시작했다고 한다[6]. 용어를 처음에 활용하기 시작한 의도는 중앙에서 처리하는 컴퓨팅 부담을 현장에 가까운 거점에서 처리함으로써, 중앙까지 전달되면서 발생하는 네트워크의 부담, 컴퓨팅의 부담을 분담(Offloading)하고자 하는 것이었다.

엣지는 가장자리 혹은 끝이라는 사전적 의미를 가지고 있으므로, 용어의 활용 주체에 따라 지칭하는 대상이 가변적이 될 수 밖에 없다. 초기의 엣지는 보통 엣지 클

라우드 혹은 엣지 라우터와 같이 클라우드 혹은 코어망 사업자를 중심으로 그 의미가 형성되었으나, 최근에는 그 주체에 칩제조사와 디바이스 제조사가 동참하면서 ‘엣지 디바이스’ 라는 용어가 사용되기 시작하고 있다. 이는 클라우드나 코어망 사업자가 공급하는 장치가 아닌 사물의 영역으로 엣지의 개념이 이동하고 있다는 것을 단적으로 보여준다.

가트너가 최근에 발표한 IoT 하이퍼사이클[7]에서는 ‘엣지 AI’와 ‘IoT 엣지 분석’을 태동기에, ‘IoT 엣지 아키텍처’를 거품기에 위치시키는 등, 엣지가 포함된 기술 용어를 명시하고 있으며, 역시 최근 보고서[8]에 따르면 ‘Empowered Edge’를 2019년의 10대 전략기술트렌드 중 하나로 선정하고 있다. 이는 작년의 같은 보고서[9]에서 ‘Cloud to Edge’보다 더 강화된 엣지의 중요성을 주장하는 것으로 보인다.

특히 이 보고서에서 주목할 점은 ‘Autonomous Things(자율 사물)’을 또 하나의 10대 전략기술트렌드로 선정하고 있다는 점이다. 로봇, 드론, 자동차, 가전, 에이전트 등의 타입으로 정의된 자율 사물은 물리와 가상세계에서 동기화가 되는 대상이며, AI(Artificial Intelligence) 기술 융합을 전제로 한다. 이 점은 IoT의 역할 변화에 중요한 단서를 제시한다 하겠다.

IDC의 한 보고서[10]에서는 차세대 IoT에서는 50% 이상의 프로세싱이 엣지에서 수행될 것으로 예측하고 있으며, 특히 ‘마이크로프로세서 기반의 솔루션’을 엣지 영역의 역할로 정의하는 점은, 역으로 엣지의 역할이 디바이스와 엔드포인트에서 수행될 것임을 암시하는 것으로 풀이된다.

종합적으로 분석하면, 엣지의 중요성은 갈수록 커지고 있으며, 엣지를 활용하는 산업적 주체 또한 클라우드, 코어망 사업장에서 사물과 디바이스 사업자로 확대되고 있다고 볼 수 있다. 이는 엣지의 위치가 클라우드 및 망사업자 관점에서의 가장자리에서 인간과 직접 대면하는 사물로 이동하고 있음을 의미하며, 마이크로프

로세서의 진화와 함께 사물이 엣지가 되어가고 있음(Things become Edge!)을 의미한다.

2. 마이크로프로세서의 진화

IoT 기술과 산업이 마이크로프로세서의 역사에 어떤 영향을 미쳤고, 현재 어떤 방향으로 가고 있는지를 살펴보자.

IoT의 등장은 마이크로프로세서 분야에 큰 전환점이 된 것은 분명해 보인다. IoT가 대중화되면서 초기에 시장을 형성할 것으로 예측된 도메인은 스마트홈이었다. 21세기에 접어들면서 한차례 붐을 이루었던 스마트홈 분야에서는 IoT 이전에 이미 UPnP, HAVi, Jini 등의 홈얼라이언스들이 기술과 산업의 경쟁을 치렀고, 이들을 주도한 기업은 MS, SONY, SUN 등의 가전 및 시스템 업체들이었다. IoT 이후에 등장한 AllSeen, OIC(Open Interconnect Consortium), Thread 등의 얼라이언스들도 초기에는 스마트홈을 주요 시장으로 인식하고 산업화 경쟁을 주도했으나, 달라진 점은 주도 업체들이 Qualcomm, Intel, ARM 등의 칩제조사라는 점이다. 이는 칩제조사에게 IoT가 제공한 기회를 반영한다 하겠다.

IoT의 대중화는 독립적 장치에서 간단한 마이크로 오피레이션을 수행하는 목적으로 활용되던 프로세서에 연결을 위한 통신 칩, 그리고 그 이상의 동작 수행을 위한 다양한 스펙트럼의 프로세서가 필요했다. 칩제조사들은 일찌감치 여기에 주목하고 더 강한 산업 동맹을 구성하여 산업 표준을 기반으로 시장을 확보하려는 노력을 기울인 것이다.

최근의 AI 기술의 발전은 또 다른 전환점을 마련하고 있다. 컴퓨터 게임에서의 현란한 비디오 처리를 목적으로 개발된 GPU가 AI의 학습 기능의 구현에 활용되기 시작했고, 구글에서는 아예 자사의 텐서플로우에 최적화된 프로세서인 TPU를 발표하고, 더 나아가 최근에는 간단한 딥러닝을 구현할 수 있는 뉴로프로세서(NPU)를

거의 대부분의 집계조사가 속속 출시하고 있다.

이러한 마이크로프로세서의 발전은 AI 기술과 IoT 기술의 매시업이 더 경량의 사물에서 가능해지고 있음을 암시하고 있다.

3. DX 요구의 확대

DX(Digital Transformation)는 IoT에서 비롯된 또 하나의 거대한 트렌드라 할 수 있다. 사물이 생산하는 데이터는 정보로 재가공되고, 사이버 공간에 현실세계를 반영하여 예측할 수 있는 기술로 진화되고 있다. 그 핵심은 디지털 트윈과 CPS(Cyber-Physical System)이다. 혹자는 디지털 트윈은 현실세계에서 사이버세계로의 단방향 특성을 갖는 반면 CPS는 가상세계에서 현실세계로의 제어까지 포함한 개념이라 주장하기도 하고, 또 다른 사람은 CPS는 개념이고, 이의 실제적인 구현 방법 중 하나를 디지털 트윈이라고 주장하기도 한다.

IDC는 2020년까지 G2000 기업의 30%가 IoT 기반의 디지털 트윈 데이터를 활용하여 25% 이상의 제품 혁신 비용 절감 효과를 볼 것으로 예측하고 있다[11]. 가트너는 디지털 트윈 전략보고서[12]에서 2023년까지 글로벌 주요기업의 50%가 디지털 트윈을 활용한다는 것을 전제로 모든 예측 데이터를 산출하고 있다. 더불어 2022년까지 1조 달러의 고객 자산관리 비용 절감 효과를 얻을 것이며, 산업설비의 디지털 트윈은 2020년까지 고객

소모 비용의 25%를 조달과 유지보수에서 서비스로 이 동시킬 것으로 예측하고 있다.

요지는 거의 모든 시장조사 기관에서 IoT를 기반으로 하는 디지털 트윈이 향후에 더 많이 활용될 것으로 예측하고 있다는 점, 그리고 이러한 DX의 니즈가 IoT 시장을 견인하는 아주 중요한 매개가 될 것으로 본다는 점이다.

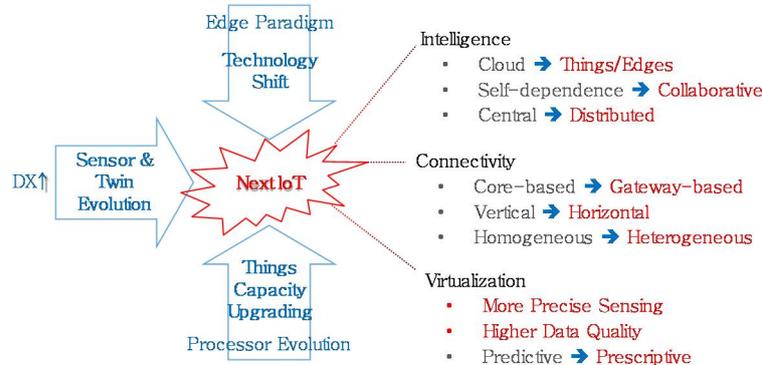
그렇다면, DX를 위한 현재 수준의 디지털 트윈과 CPS의 기술 수준은 어떨까? 한마디로 ‘아직 요원하다’고 주장하는데 주저할 사람은 없을 것이다. 보다 정확한 센싱데이터 확보, 실세계-가상세계 동기화를 위한 엣지 패러다임의 적용, 더 많은 경우에 대응할 수 있는 범용적 트윈 모델의 발굴 및 확대, 시뮬레이션 기술의 발전 등이 매우 요구되는 분야라 할 수 있다.

4. 환경변화에 따른 IoT의 역할 변화

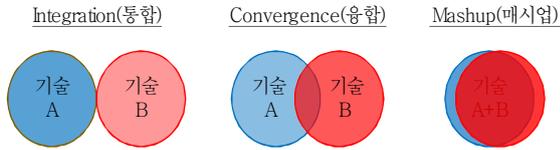
앞에서 살펴본 IoT 주변의 환경 변화는 IoT의 역할에 대한 변화를 촉구하고 있다[(그림 1) 참조].

클라우드에서 엣지로의 패러다임 이동과 마이크로프로세서의 발전은, 단순한 센싱과 액추에이션만 수행하던 현장 사물이 보다 지능적으로 판단하고 자율적으로 대응하는 시대가 도래하고 있음을 보여준다.

DX의 니즈 증가는 엣지 패러다임과 맞물려서 현실세계와 가상세계의 동기화에 기반한 정밀 예측 및 제어 기술의 필요성을 부각시키고 있다.



(그림 1) 거시적 환경변화와 차세대 IoT 요구 기술



(그림 2) 기술간 통합-융합-메시업 개념

이러한 거시적 흐름은 전통적으로 IoT가 가지고 있는 융합 패러다임 전환에 대한 요구가 내재되어 있다. 즉, 산업융합에 초점이 맞추어져 있는 IoT 융합을 핵심기술간 융합으로 - 아니 메시업으로 관점을 수정할 때가 된 것이다(그림 2) 참조).

이러한 관점에서 차세대 IoT 기술의 핵심은 IoT와 AI, 블록체인, 로봇 등의 핵심기술간 메시업이 될 것으로 예측된다.

III. IoT-AI 메시업

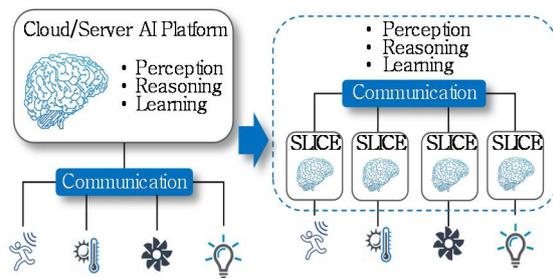
본 장에서는 차세대 IoT 기술과 관련하여 ETRI IoT 연구본부에서 수행 중인 기술개발 내용을 소개하고자 한다. IoT-AI 융합이라 명명한 바와 같이 현재 부서에서 개발 중인 과제는 사물과 AI의 메시업과 관련된 연구 개발을 수행 중이다. 하나는 사물에 경량의 AI 기능을 구현하는 기술(Edge AI)개발 과제이며, 다른 하나는 제 4의 인공지능 엔진이라 할 수 있는 지능협업 엔진에 관한 선도적 연구개발 과제이다.

1. 사물지능기술(Edge AI)

최근 IoT 기술은 다양한 분야에 적용되어 규모를 확대하고 있으며, 기하급수적인 연결로 복잡성이 심화됨에 따라 클라우드 중심의 데이터 처리와 실시간 대응의 한계를 차츰 드러내고 있다. 특히, 자율주행 자동차, 커넥티드 카와 같이 주변의 상황을 실시간으로 인지하고 제약시간내 반드시 대응해야 하는 서비스가 요구되는 사물은 사물 수준에서의 인지, 판단, 대응이 가능한 자체적인 지능화인 사물지능 기술이 요구된다.

사물지능 기술은 사물이 스스로 환경의 변화를 인지하고 합리적 의사결정을 통해 자율적인 대응을 수행하는 사물 및 엣지 지능화 기술이다. 이는 사물이 환경과 사용자의 변화를 인지하고 분석하는 상황인지 기술, 상황인지 정보로부터 새로운 정보를 추론하는 상황 추론 및 예측 기술, 최적의 판단과 대응 제어 기술, 의사결정의 피드백과 대응을 통해 스스로 보정하며 최적화되는 지능 강화 기술로 구성된다.

ETRI IoT연구본부에서는 사물지능화를 위한 공통 SW 엔진 개발을 목표로 2017년 4월부터 관련 연구를 수행 중이며 개발된 사물지능 SW 플랫폼(SLICE: Self-Learnable IoT Common SW Engine)[13]을 OCEAN-(Open Alliance for IoT Standard) Alliance를 통해 공개하였다.¹⁾ SLICE플랫폼은 외부환경에 설치된 다양한 센서장치를 통해 상황을 인지하고 구동기를 이용하여 인지한 상황에 맞는 액션을 수행하는 사물 수준에서 동작하는 규칙(Rule)기반 플랫폼이다. 이를 통해 그림과 같이 기존의 클라우드 또는 서버 중심의 지능화 기술을 사물 또는 엣지 수준에 배치하여 클라우드에서의 복잡성을 줄이고 실시간 반응성을 높일 수 있다(그림 3) 참조].



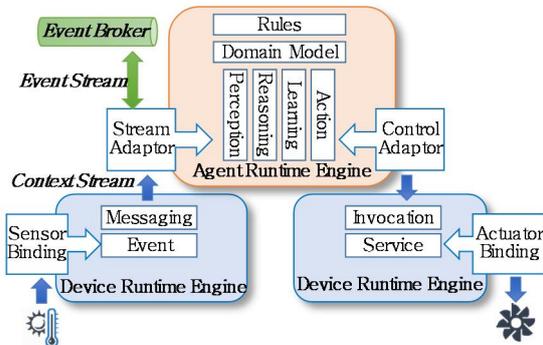
(그림 3) 사물 수준의 지능화 구성

[출처] Reprinted from Y.H. Suh, S.P. Woo, and D.H. Park, "SLICE: Self-Learnable IoT Common Software Engine," *Int. Conf. Internet Things (IoT)*, Santa Barbara, USA, Oct. 15-18, 2018, pp. 19:1-8.

1) <http://developers.iotocean.org/archives/module/development-of-self-learnable-common-iot-sw-engine>

가. SLICE 플랫폼의 개요

SLICE 플랫폼은 디바이스 실행 엔진(Device Runtime Engine)과 에이전트 실행 엔진(Agent Runtime Engine)의 2개의 실행엔진을 갖고 수행되며, 개념적인 구조는 (그림 4)와 같다. 디바이스 실행엔진은 센서 또는 구동기와와의 연결을 지원하며 센서로부터 받은 센싱 데이터를 이벤트로 변환하여 Context Stream으로 에이전트 실행엔진에 전달하거나, 제어가 요구되는 메시지에 대해 해당 구동기의 연결과 제어 명령을 전달하는 기능을 수행한다. 에이전트 실행 엔진은 stream/



(그림 4) SLICE 플랫폼 개념구조도

[출처] Reprinted from Y.H. Suh, S.P. Woo, and D.H. Park, "SLICE: Self-Learnable IoT Common Software Engine," *Int. Conf. Internet Things (IoT)*, Santa Barbara, USA, Oct. 15-18, 2018, pp. 19:1-8.

```
@relation carseat_tilt
@attribute BodyPartLength.height numeric
@attribute seatControl.sef.tilt numeric

@data
191, 23 RuleEngineApp [Java Application] C:\Program Files\Java\jdk1.8.0_102\bin\javaw.exe (2017. 12. 1)
181, 29 ### Action rules LEARNED-----
167, 16 [rule "carseatControl.controlHeight #1"
188, 31   when
177, 24     S0:DriverSeated(height < 171.5)
170, 24   then
181, 29     carseatControl.controlHeight (14);
192, 31 end, rule "carseatControl.controlHeight #2"
183, 29   when
162, 16     S0:DriverSeated(height >= 171.5, height < 188.5)
189, 27   then
181, 29     carseatControl.controlHeight (22);
181, 29 end, rule "carseatControl.controlHeight #3"
168, 16   when
191, 31     S0:DriverSeated(height >= 171.5, height >= 188.5)
182, 28   then
167, 17     carseatControl.controlHeight (17);
167, 17 end]
```

(그림 5) 학습을 위한 로그로부터 생성된 규칙(예시)

[출처] Reprinted from Y.H. Suh, S.P. Woo, and D.H. Park, "SLICE: Self-Learnable IoT Common Software Engine," *Int. Conf. Internet Things (IoT)*, Santa Barbara, USA, Oct. 15-18, 2018, pp. 19:1-8.

control adaptor를 포함하여 인지(Perception), 추론(Reasoning), 학습(Learning), 액션(Action)의 실행 환경을 제공한다.

인지 모듈은 센서로부터의 컨텍스트 스트림(Context Stream) 뿐만 아니라 외부 이벤트 스트림(Event Stream)으로부터의 이벤트 처리와 인지를 수행하고, 액션 모듈은 제어가 요구되는 서비스를 찾아 연결하고 제어 명령을 호출하는 기능을 수행한다. 또한, 에이전트가 수행이 필요한 도메인 모델과 규칙을 포함하여 추론 및 학습 기능을 지원한다. 특히, 그림과 같이 학습 모듈은 사용자의 명시적인 명령을 로그로 기록하고, 해당 로그를 다양한 머신러닝 기법을 통해 학습함으로써 룰 엔진에서 실행되는 규칙을 업데이트할 수 있다(그림 5) 참조.

나. SLICE 플랫폼의 지능명세

SLICE 플랫폼의 지능명세는 ADL(Agent Definition Language)로 표현되는데, 크게 데이터 모델(Data Model), 제어 모델(Control Model), 에이전트 프로파일(Agent Profile)의 세 파트로 구성된다. 데이터 모델은 컨텍스트(Context), 이벤트(Event) 및 예외처리(Exception)를 명세하며, 제어 모델은 제어(Control)을, 에이전트 프로파일은 룰셋(Rule set), 행위(Behavior), 어댑터(Adapter), 스트림(Stream), 래퍼(Wrapper)를 명세한

```
<domain> ::= <data model> | <control model> | <agent>
<data model> ::= <context>+ | <event>* | <exception>*
<context> ::= <property>*
<event> ::= <property>*
<property> ::= <type name> <name>
<control model> ::= <control>*
<control> ::= <property>* | <operation>*
<agent> ::= <agent declaration>*
<agent declaration> ::= <id> <behavior>+ <command>*
<behavior> ::= <situation> <action>
<situation> ::= <type name> (',' <type name>)*
<action> ::= <publish> | <call> | <noop>
<command> ::= <context>* <method name>
```

(그림 6) EBNF로 표현한 ADL 정의

[출처] Reprinted from Y.H. Suh, S.P. Woo, and D.H. Park, "SLICE: Self-Learnable IoT Common Software Engine," *Int. Conf. Internet Things (IoT)*, Santa Barbara, USA, Oct. 15-18, 2018, pp. 19:1-8.

다. (그림 6)은 ADL의 EBNF(Extended Backus Naur Form) 표기를 나타낸다.

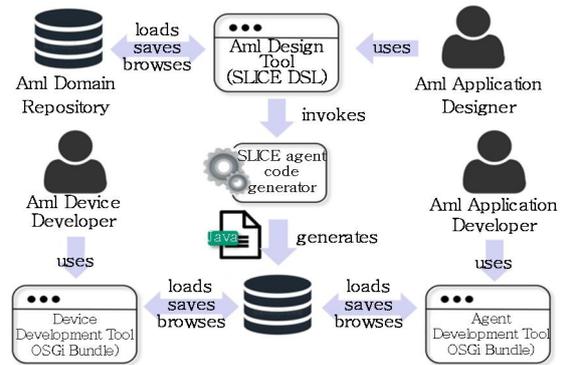
다. SLICE Framework

SLICE 프레임워크는 SLICE 플랫폼을 적용하여 개발하기 위해 지원되는 툴의 집합으로 크게 응용 설계자가 사용하는 SLICE Aml Design Tool과 응용 개발자가 사용하는 SLICE Agent Development Tool, 디바이스 개발자가 사용하는 SLICE Device Development Tool로 구성된다(그림 7) 참조].

SLICE 응용 설계자는 Ⅲ장 나절에서 기술한 ADL을 이용하여 응용에 대한 모델링을 작성하게 되고, 이는 SLICE 에이전트 코드 생성기(agent code generator)에 의해 자바코드로 생성되어 개발자가 활용할 수 있도록 지원한다. SLICE 응용 개발자는 생성된 자바코드를 이용하여 SLICE Agent Development Tool을 이용하여 상

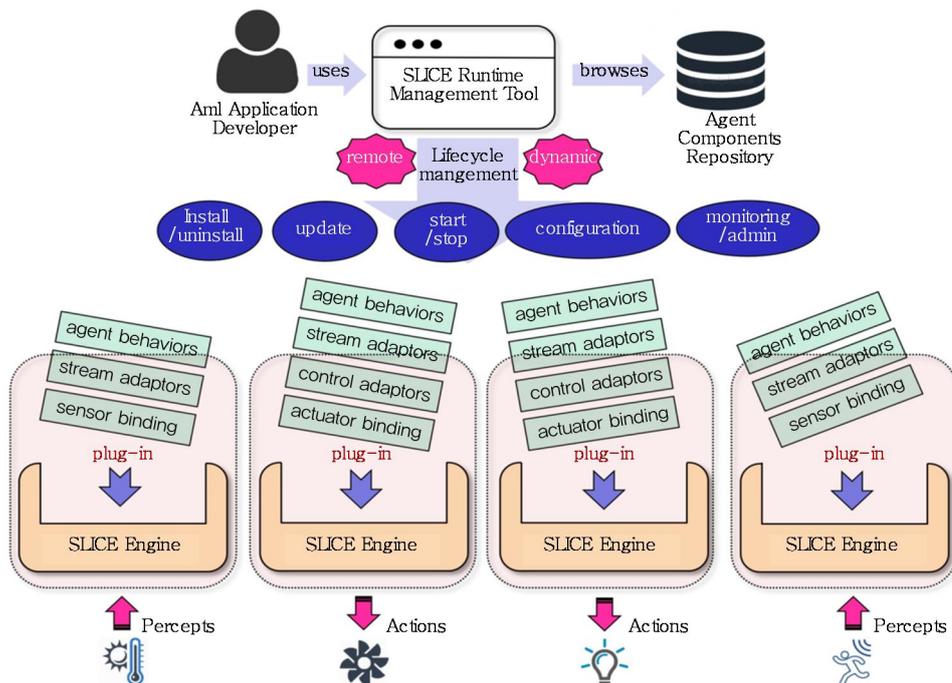
세코드를 작성하고, 디바이스 개발자는 생성된 자바코드를 이용하여 SLICE Device Development Tool을 이용하여 상세코드를 작성한다.

SLICE 프레임워크에서 제공하는 또 다른 도구인



(그림 7) SLICE 빌드타임 툴(Build-time Tools)

[출처] Reprinted from Y.H. Suh, S.P. Woo, and D.H. Park, "SLICE: Self-Learnable IoT Common Software Engine," *Int. Conf. Internet Things (IoT)*, Santa Barbara, USA, Oct. 15-18, 2018, pp. 19:1-8.



(그림 8) SLICE 런타임 관리 도구(SRMT)

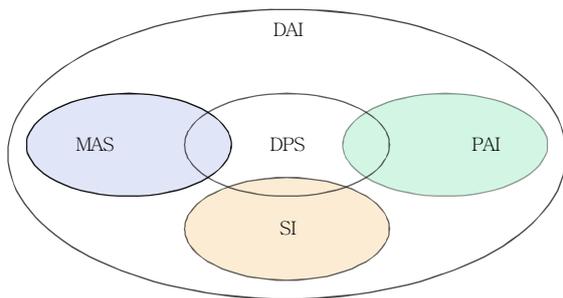
[출처] Reprinted from Y.H. Suh, S.P. Woo, and D.H. Park, "SLICE: Self-Learnable IoT Common Software Engine," *Int. Conf. Internet Things (IoT)*, Santa Barbara, USA, Oct. 15-18, 2018, pp. 19:1-8.

SRMT(SLICE Runtime Management Tool)은 그림과 같이 개발자가 장치에 동적으로 실행가능한 모듈을 관리하고 동작시킬 수 있는 관리 도구이다. SRMT에서는 원격에서 SLICE 엔진에서 실행되는 모듈들에 대해 설치/삭제(install/uninstall), 갱신(update), 시작/종료(start/ stop), 모듈 구성(configuration), 모니터링/관리(monitoring/admin)를 수행할 수 있다[그림 8] 참조].

2. 분산 협업 지능(Distributed Collaboration Intelligence)

분산 협업 지능은 물리공간의 수많은 지능사물들(Cognitive Things)이 대규모로 연결(Massive Connectivity)되어 주어진 상황에 맞게 자기조직화(Self-Organization)하고, 자율적인 상호협력(Distributed Collaboration)을 통해 스스로 문제를 해결(Self Problem Solving)하고 진화(Evolution)해가는 시스템 기술이다.

전통적으로 분산협업지능은 (그림 9)와 같이 DPS(Distributed Problem Solving), MAS(Multi-Agent System), SI(Swarm Intelligence), PAI(Parallel AI) 등으로 구분되어 연구되어 왔다. DSP 기술은 하나의 커다란 문제를 분산된 컴퓨팅 노드들에 나누고, 부분 결과를 취합하는 방



- DAI: Distributed AI
- DPS: Distributed Problem Solving
- MAS: Multi-Agent System
- SI: Swarm Intelligence
- PAI: Parallel AI

(그림 9) 분산협업지능의 기술적 분류

[출처] Reprinted from 박준희, “IoT기반 초연결 공간 분산지능 기술,” 전자통신동향분석, 제33권 제1호, 2018, 공공누리 제4 유형.

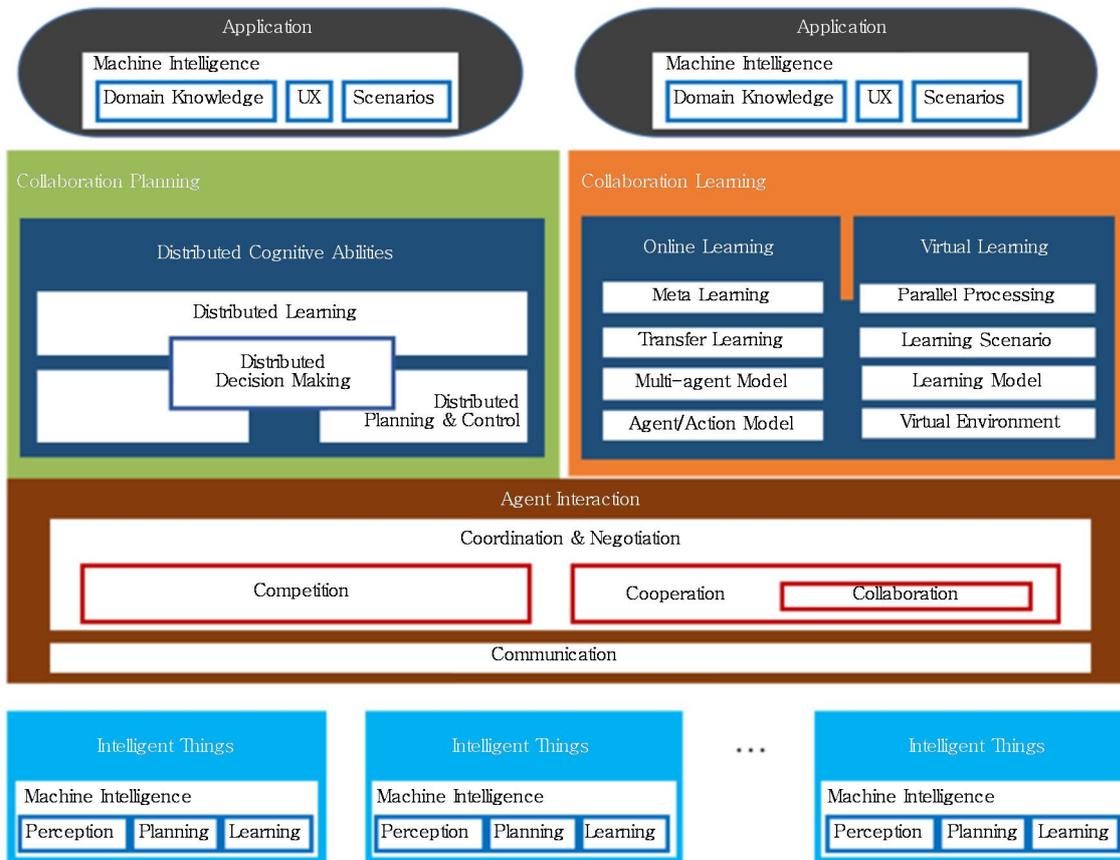
법이고, MAS는 각기 다른 기능을 가진 에이전트를 실행하여 협업과 경쟁, 동의와 부정 등의 협업 과정으로 하나의 문제를 해결하는 기술이다. SI는 동일한 기능의 다수의 사물을 동작시켜 하나의 통제된 마스터 플랜 없이 결과를 도출하는 기술이다. 그리고, PAI는 전통적인 병렬처리 시스템에서 인공지능 기술을 실행하여 문제를 해결하는 방식이다. 이러한 관련 기술들이 초연결 사물인터넷 환경이 현실화되면서 경계가 흐려지고 있다.

ETRI IoT연구본부에서 실세계 초연결 공간의 복잡한 문제를 다수의 지능사물들이 스스로 협업하여 해결하기 위한 분산협업지능 과제를 수행하면서 크게 3가지 핵심 지능기술과 도메인 분야별 응용지능 기술로 구분하고 있다. 이하 연구개발내용을 요약 정리한다.

첫 번째, 핵심지능 기술은 사물이 보유한 기능을 활용하여 실제 업무(Task)를 최적 수행하기 위한 사물지능(Machine Intelligence) 기술이다. 사물지능이 탑재된 사물을 지능형 사물(Intelligent Thing)이라 명명하며 분산 협업지능의 기반을 이룬다. 두 번째, 핵심지능 기술은 다수의 지능사물들이 서로 협업할 수 있도록 사물지능을 연계하고, 주어진 문제를 이해하고 해결 방법을 분할하는 미션관리 기술과 주어진 환경에서 최적의 플래닝을 선택하는 기술로서 분산협업계획(Collaboration Planning) 기술이 있다. 세 번째, 핵심지능은 이러한 사물지능과 협업지능을 실제 환경에서 학습하고 문제해결 능력을 검증하는 분산협업학습(Collaboration Learning) 기술로 구성된다. 그리고, 핵심지능기술을 실제 초연결 공간에 적용하기 위해서 각 응용 도메인 분야별 응용 지능(Application Intelligence) 기술을 구축한다. 이렇게 구축된 분산지능은 실제 공간에 설치 운영되는 지능 사물에 배포되어 스스로 최적화하면서 자율적으로 운영된다.

가. 분산협업계획 기술

협업 지능은 문제를 정의하고 미션을 인지하여 지능



(그림 10) 분산협업지능 핵심 기술 아키텍처

형 사물을 조직화하여 환경변화에 적응하는 플래닝을 구현하기 위한 핵심 요소 기술을 아래와 같이 정의하고 개발하고 있다.

지능형 사물 아키텍처 확장하여 주위의 사물들의 지식과 상황정보를 상호 교환하여 분산협업이 가능한 지능 사물은 아래의 기능을 포함하도록 개발하고 있다(그림 10)].

분산협업 지능사물은 사용자 피드백 기반 강화학습이 포함되는 SLICE 엔진(인지, 추론, 의사결정 SW 엔진)을 탑재하고, 지능사물이 구축한 지식을 분할, 공유, 병합하기 위한 기술과 현재 사물이 사용 가능한 자원에 적응적인 인지/추론/학습/판단 지능요소 조합 기술을 활용하여 자원 명세와 지능 최적 매칭 기술을 제공한다.

이러한 지능사물들이 하나의 문제를 해결하기 위해

서 문제를 중심으로 자기조직화하여 에이전시를 구축하고 협업 또는 경쟁하는 미션 모델을 활용하여 태스크를 할당하는 방법을 구성하기 위해서 분산협업계획 기술을 정의하고 개발한다. 분산협업계획 기술에는 분산 지능 조직화를 위한 미션 정보 모델을 활용하여 자율 지능사물 협업 에이전시 구축 기술해서 문제에 대해서 에이전시를 기반으로 태스크 분할 배분 기술을 기본적으로 탑재하고 있다. 또한, 다중 미션을 수행하기 위해 태스크 상호 조정 기술을 환경 및 상황 변화에 따라 적응적으로 재계획 기술을 포함하고 있다. 그 외에 각 에이전시가 구축하여 활용한 자율 조직 구성에 대한 지식 베이스를 구축하여 재활용할 수 있도록 검색 기술을 제공한다. 분산협업계획의 정확도와 응답속도를 높이기 위해 활용하며, 이를 구축한데 있어 강화학습 기반 재

계획 운영 기술을 내포하여 기구축한 지식베이스를 활용하여 발생 가능한 다양한 조건을 보충하여 적응도를 높이고, 분산 지능 에이전트 운영을 위한 모니터링 기술이 포함된다.

그 외에 미션 수행 결과 분석 및 피드백 기술과 임무 기반 협업 모니터링 및 학습데이터 변환 기술 등도 포함한다.

나. 분산협업학습 기술

분산협업학습 상황변화에 따라 문제 해결 방법에 대한 최적화와 고도화를 사물지능기술 기술과 분산협업계획 기술을 활용하여 실제 환경에서 수행하면서 직접 온라인 학습을 하거나 가상 학습 환경을 구축하여 지능의 고도화를 제공하는 기술이다.

분산협업학습 기술은 분산 협업을 위한 학습 요소 및 환경 구축을 정의하여 개별 사물지능이 구축한 지능을 정보화하여 상호교환, 취합, 변형 등을 통해서 지능을 온라인 최적화하기 위한 온라인 학습 구조를 만드는 것이 주된 작업이다. 또한, 실세계에서 학습하기 어려운 조건을 가상공간에 구축하여 병렬적으로 학습을 제공하는 분산 협업 시뮬레이션 기술도 포함된다. 예를 들어, 화재 현장 대응 계획(planning)을 직접 화재현장에서 학습할 수 없기 때문에 이러한 가상환경 학습을 활용하여 최적화를 하고, 실세계에서는 부분적인 훈련을 통해서 최적 튜닝을 수행한다. 그리고, 가상환경 학습을 효율적으로 수행하기 위해서 대규모 분산 컴퓨팅 기술을 제공하는 환경을 제공하기 위해 개발하고 있다. 그리고, 응용 지능 최적화를 위한 학습 모델 및 환경 구축을 포함하고 있다.

다. 응용 지능 기술

1) 재난안전 지능 구축

재난 환경에서 외부와의 통신 단절, 통합적인 상황판

단과 신속한 의사결정을 제공하는데 있어, 분산지능을 적용하기 위한 기반을 검증한다.

- 재난 대응에 대한 SOP(Standard Operation Procedure) 지식화를 통해서 지능형 사물에 탑재하고
- 지능형 사물 간의 협업을 통해서 다양한 상황에서 최적의 대응이 가능함을 검증할 예정이다.

2) 스마트 제조 지능 구축

제조 환경은 그 자체가 매우 복잡한 시스템이며 멀티 에이전트를 활용한 사례가 많은 분야이다. 제조 분야의 지능화에서는 시장 수요 불확실성과 공급 네트워크의 확장, 제품 모델 가변성, 다품종 생산의 유연성 등을 해결하기 위한 지능을 구축하기 위해서 분산지능의 단계적 적용을 통해 자율유연생산에서의 분산지능 유용성 검증하고 있다.

- 1단계에는 생산 미션 수행을 위한 동적 작업계획 및 작업할당에 분산지능을 활용한 시나리오를 개발하여 개방형 시범 제조 환경을 구축하고,
- 2단계에는 생산 미션별 자율공정설계에 분산 지능을 적용함으로써, 티칭이 필요 없는 ‘teaching-less factory’ 제조 환경을 검증할 예정이다.

라. 정리

분산협업지능의 실현을 통해서 스마트시티 자율자동차 운영, 재난 발생시 긴급 대피 및 구호, 스마트팩토리 생산 자동화 등의 초연결 공간의 복잡한 문제를 사물 간의 자율적인 협업을 통해서 최적화되고 상황변화에 적응적으로 운영될 것으로 기대하고 있다.

IV. 결론 및 향후 계획

본고에서는 간략하나마 IoT와 관련된 거시적 기술 흐름과 역할 변화에 대해 분석하고, 다음 세대의 IoT를 위한 요구 기술에 대해서 살펴보았으며, 관련된 ETRI의

연구수행 내용을 개괄적으로 알아보았다.

마지막으로 현재 수행 중인 기술개발 과정에서 맞닥뜨리고 있는 현실적인 문제점을 기술하고, 이를 위한 새로운 패러다임을 제안하고자 한다.

협업과 합의는 분산 지능의 주요 핵심 기술로서, 1년 전 기고 논문[14]에서 사피엔스가 지구의 지배자가 될 수 있었던 생물학적 지능에 견주어 설명한 바 있다. IoT와 AI의 매시업의 핵심 역시 협업 혹은 합의 지능에 있으며, 협업/합의 지능은 인공지능의 제4 엔진이 될 것임을 확신한다.

문제는 기존의 컴퓨팅 패러다임을 기반으로 하는 협업과 합의라는 기능의 구현이 어렵다는 것이다. 같은 조건에 같은 대답을 하는 상황에서는 협업이나 합의가 아닌 ‘평행’만 존재할 뿐이다. 가소성을 특징으로 하는 인간의 뇌는 협의와 합의가 가능하게 하는 핵심이 된다.

인공지능의 추론과 학습은 이러한 가소성을 발현할 수 있는 중요한 수단이 될 수 있으며, 가소성을 기반으로 하는 컴퓨팅의 중요한 힌트가 될 것으로 보인다. 유연하고, 적응적이고, 가소적 특성을 구현할 수 있는 브레인 컴퓨팅 플랫폼이 사물에서 구현된다면, 우리는 또 다른 단계의 사물을 만날 수 있을 것으로 기대된다.

약어 정리

ADL	Agent Definition Language
AI	Artificial Intelligence
CPS	Cyber-Physics System
DPS	Distributed Problem Solving
DX	Digital Transformation
EBNF	Extended Backus Naur Form
GPU	Graphics Processing Unit
IoT	Internet of Things
MAS	Multi-Agent System
MCU	Micro Control Unit

NPU	Neural Processing Unit
OCEAN	Open Alliance for IoT Standard
OIC	Open Interconnect Consortium
PAI	Parallel AI
SLICE	Self-Learnable IoT Common SW Engine
SoC	System on Chip
SRMT	SLICE Runtime Management Tool
SW	Software

참고문헌

- [1] Wikipedia, Internet of Things, available from https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things#History
- [2] M. Weiser, "The Computer of the 21st Century," *Scientific American*, vol. 265, 1991, pp. 94-104.
- [3] K. Ashton, "That 'Internet of Things' Thing," *RFID J.*, 2009.
- [4] Gartner, "Forecast Analysis: IoT - Endpoints, Worldwide, 2017 Update," Dec. 2017.
- [5] IDC sponsored by Segate, "Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical," 2017.
- [6] 손가영, 이은민, "IoT 생태계 확산과 엣지 컴퓨팅의 역할," *정보통신방송정책*, 제29권 제16호, 2017. 9, pp. 1-15.
- [7] Gartner, "Hype Cycle for the Internet of Things, 2018," July 2018.
- [8] Gartner, "Top 10 Strategic Technology Trend for 2019," Oct. 2018.
- [9] Gartner, "Top 10 Strategic Technology Trend for 2018," Oct. 2017.
- [10] IDC, "IoT: Market Spend & Trend Outlook for 2018 and Beyond," Feb. 2018.
- [11] IDC, "IDC FutureScape: Worldwide IoT 2018 Predictions," Oct. 2017.
- [12] Gartner, "Top 10 Strategic Technology Trends for 2018: Digital Twins," Mar. 2018.
- [13] Y.H. Suh, S.P. Woo, and D.H. Park, "SLICE: Self-Learnable IoT Common Software Engine," *Int. Conf. Internet Things (IoT)*, Santa Barbara, USA, Oct. 15-18, 2018, pp. 19:1-8.
- [14] 박준희, "IoT기반 초연결 공간 분산지능 기술," *전자통신동향분석*, 제33권 제1호, 2018, pp. 11-19.