

IoT 기반 초연결 공간 분산지능 기술

IoT Based Distributed Intelligence Technology for Hyper-Connected Space

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
조준면 (J.M. Cho, jmcho@etri.re.kr)	IoT 연구본부 책임연구원
배명남 (M.N. Bae, mnbae@etri.re.kr)	IoT 연구본부 책임연구원
한미경 (M.K. Han, mkhan@etri.re.kr)	실감감성플랫폼연구실 책임연구원/실장
이훈기 (H.K. Lee, lhk@etri.re.kr)	실감감성플랫폼연구실 책임연구원
최진철 (J.C. Choi, spider22v@etri.re.kr)	IoT 연구본부 선임연구원
김 현 (H. Kim, hyunkim@etri.re.kr)	IoT 연구본부 책임연구원/본부장
황승구 (S.K. Hwang, skhwang@etri.re.kr)	초연결통신연구소 책임연구원/소장

IoT is used not only as a technical terminology but also as a paradigm representation. As the number of IoT devices spread tremendously throughout the world, they are able to be located anywhere, recognize their environment, and achieve adaptable reactions. All market investigation agencies expect the number of IoT devices to reach tens to hundreds of billions in number. They also expect various technical problems owing to the huge number of connected things and data that will emerge during the AI era. The decentralization of centralized computing for AI is the one of the technical solutions to such problems, and the computing roles for AI will be soon distributed into the things, which can be located anywhere. In this article, the traditional distributed intelligence and its current research activities are introduced, and the next distributed intelligence target for the IoT 2.0 era is briefly touched upon using the keyword Socio-Things.

* DOI: 10.22648/ETRI.2018.J.330102

* 본고는 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.

4차 산업혁명 사회의 초연결 지능과 신뢰 인터넷 기술 특집

- I. 서론
- II. IoT 기반 분산지능 기술 동향
- III. 결론 및 향후 계획

I. 서론

IoT는 진화하고 있다. 흔히 1.0에서 2.0 시대로 진입하고 있다고 말한다. 2.0 시대의 가장 큰 주요 특징 중 하나는 오래전부터 예측되었던 디바이스 수의 폭발적 증가이다. 통계 전문 기관인 Statista는 2025년 전 세계에 설치될 IoT 디바이스의 수를 754억 개로 예측한다[1]. 수많은 디바이스의 온라인화는 연결성(Connectivity)을 초연결성(Hyper-connectivity)으로 변화시키고 있으며, 세상을 복잡계(Complex System)로 진화시키고 있다. 또한, 컴퓨팅 하드웨어의 고도화는 중소형 디바이스의 성능을 향상시키고 있으며, 클라우드 서버에서 전달처리 하는 것으로 인식되던 지능 기능이 에지 서버로 이동하는 비집중화(Decentralizing) 현상에 이어서 이제는 더 작은 규모의 사물에도 지능이 존재할 수 있는 흐름이 진행되고 있다.

그 결과 기존의 중앙집중형 지능(Centralized 혹은 Collective Intelligence)을 중심으로 한 문제 해결 방식에서 분산형 지능(Distributed Intelligence)을 활용하는 방식으로 변화하고 있다. 이러한 변화는 중앙지능보다는 분산지능이 적합하다고 알려진 현실 세계의 복잡계 문제 해결의 가능성을 열어주고 있다.

분산지능은 말 그대로 지능이 분산된 개념이다. 보편적으로 분산이란 나누어진다는 의미를 갖지만, 다른 관점으로는 작은 여러 개의 지능과 이 지능에 기반한 자율적 협력의 전제조건이 된다. 딥러닝 기술의 등장과 다양한 산업분야에 대한 적용으로 다시 붐을 일으키고 있는 인공지능은 이제 다음 단계로 진입할 준비가 필요해 보인다. 인공지능은 인간의 지능적인 작용들을 이해해 보려는 학문으로 인간의 지능을 기계가 갖출 수 있도록 하려는 목표를 가지며, 학습, 추론, 인식의 3가지 기술이 주를 이루고 있다[2].

인공지능의 다음 진화 방향을 추측하는 것은 매우 어려우나, 인간의 지능을 모방하면서 시작된 기술인 만큼



(그림 1) 사피엔스와 네안데르탈인 비교

[출처] Ted Kandell, "A hypothetical reconstruction of a common male ancestor of all modern humans, who would have lived say 60,000 years ago," flickr: <https://www.flickr.com/photos/tkandell/85556267>

[출처] R. Dalton, "Neanderthals may have interbred with humans," Nature, News, Apr, 2010.

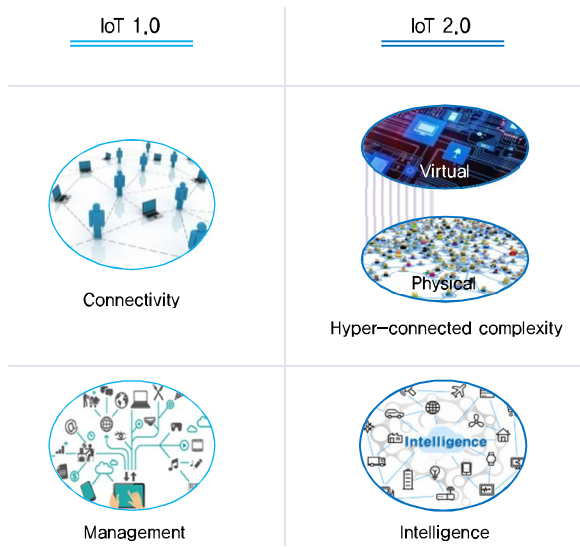
인류의 역사 속에서 그 힌트를 찾을 수 있다. 유발 하라리의 사피엔스[3]에 따르면, 사피엔스가 지구를 정복하는 과정에서 개인적인 능력(지능, 근력 등)이 더 뛰어난 네안데르탈인을 이겨낸 힘은 바로 사피엔스에게만 있었던 협력 능력이라고 주장한다(그림 1) 참조]. 또한, 옥스퍼드 대학교 사회학자 로빈 던바는 영장류의 대뇌 신피질 비율의 비교 연구를 통해 유추한 원시사회에서 사피엔스가 이룬 집단의 크기를 150명이라 주장하며, 이 고고학적 사회학 이론에 힘을 싣고 있다. 뇌의 구조 변화와 집단 거주 형태 사이의 선후 관계는 명확하지 않지만, 집단 거주와 협력 지능은 뇌의 구조와 연관성이 있음은 확인할 수 있다. 이러한 사회학 이론을 기반으로, 학습, 추론, 인식에 집중된 인공지능의 다음 단계는 협력지능이 될 것으로 예측되며, 이는 지능이 분산된, 개별적이고 자율적인 분산지능 환경이 전제되어야 한다.

본고에서는 향후 더욱 심화될 것으로 예측되는 복잡계 공간 현실화와 문제 해결을 위한 주요 기술인 IoT 기반 분산지능의 연구 동향에 대해 알아보고, 향후 방향성에 대해서 논한다.

II. IoT 기반 분산지능 기술 동향

1. IoT 2.0과 복잡계

IoT 기술은 연결성과 관리 중심의 1.0에서 초연결성,



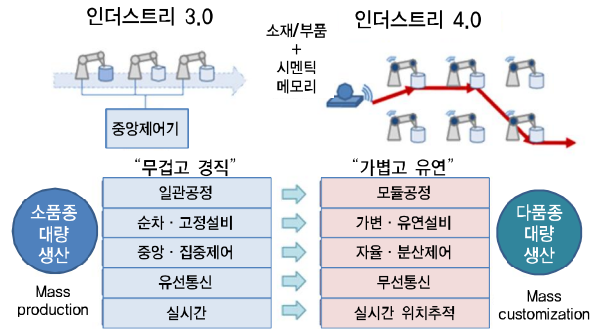
(그림 2) IoT 1.0 vs 2.0

〈표 1〉 복잡계 문제의 특징[4]

특징	설명
No Single Point of Location(NSPL)	- 한 곳으로 데이터가 모이는 것, 한 곳에서 모두를 통제하는 것이 불가
예측 불가 (Unpredictable)	- 어떤 결정에 의한 제어가 예측하기 어려운 피드백으로 회귀 되므로 문제 해결을 위한 모델링이 불가
민감성(Sensitive)	- 지협적 상호작용이 전체의 결과에 영향을 줌(나비효과)

지능 중심의 2.0으로 진화 중이며, 지능화, 복잡계화가 진행되고 있다[그림 2] 참조]. 즉, 사물의 등록, 탐색, 연결을 통해 모든 것이 인터넷에 연결된 세상을 이루기 위한 IoT 1.0에서 이제 사물에 지능을 부여하여 현장에서 문제에 대응하는 즉시적 해결이 가능한 2.0 시대로 진입하고 있다.

초연결된 IoT 공간에서 지능적으로 해결되어야 할 문제 중에는 모든 정보와 지능적 역량이 한 곳에 모이는 것도 어렵고, 개별적 상황을 모두 완전히 반영하기도 어려운 환경이 존재한다. 우리는 이를 복잡계 문제라고 한다. 제조, 재난안전, 교통, 금융, 물류, 유통, 소셜네트워크, 에너지 등은 현대사회가 안고 있는 복잡계 문제의 대표적인 사례이다. 이와 같은 복잡계 문제는 〈표 1〉과 같은 특징을 가지고 있다.

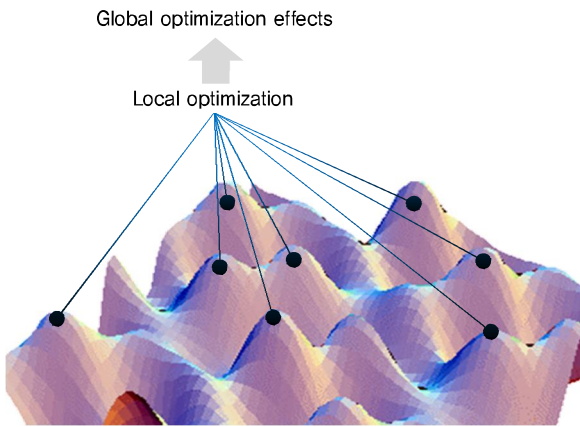


(그림 3) Industry 3.0 vs Industry 4.0[5]

[출처] 박형근, 김영훈, “인더스트리 4.0, 독일의 미래 제조업 청사진,” 포스코 경영연구소 POSRI보고서, 2014. 2.

제조분야는 분산지능의 한 부류인 멀티에이전트 시스템으로 풀고자 많은 노력을 해왔던 복잡계의 한 예로서, 특히 4차 산업혁명의 원조 격인 독일의 인더스트리 4.0이 부각되면서 더욱 주목을 받는 분야이다[그림 3] 참조]. 인더스트리 3.0은 소재, 제품, 기기의 지능화를 통해 중앙제어장치의 명령을 받아 생산기기가 소재를 가공하던 일방향 서비스 로직인 반면, 인더스트리 4.0은 소재와 반제품이 스스로 지능화된 생산기기와 무선으로 데이터를 송수신하면서 생산 경로를 결정하는 모듈 단위의 유연한 분산자율제어 생산체계이다. 인더스트리 4.0에서 분산자율제어 생산체계가 유리한 것은 과거의 소품종 대량생산 체제가 다품종 소량생산 체제로 전환되는 환경에 기인하며, 대량 생산체계에서 생산계획을 세우는 것은 관련 전문가들이 많은 시간을 소요하면서 최적의 계획(Global Optimization)을 만들어 내는 복잡한 과정이 요구된 반면, 다품종 소량 생산체계에서는 수시로 변경되는 제품 생산 요구에 대응하기 위해 최적에 가까운 계획(Local Optimization)을 빠르게 찾아내는 것이 요구되기 때문이다.

화재현장은 사람(소방구조대원), 사물(소방드론, 소방로봇 등 각종 소방 장치), 공간(건물의 정보)이 유기적으로 연결된 초연결 지능 공간이며, 〈표 1〉의 복잡계 특성을 갖는 소규모 공간의 예가 된다. 소방관의 소방활동, 화재의 진행 방향, 화인에 의한 폭발 예측,



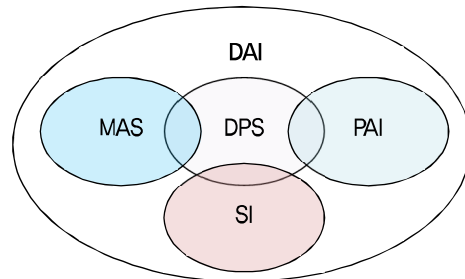
(그림 4) 복잡계 문제의 해결 방법

실내외 대류변화 등 수 많은 예측불가 요인이 공존 (Unpredictable & Sensitive)하며 화염이나 장애물에 의한 통신단절과 이에 따른 고립이 빈번하여 한 곳으로 정보가 모일 수도 없고 한 곳에서 통제할 수도 없는 환경을 연출(NSPL)한다. 여기에 더해, 긴박하고 복잡한 현장 상황은 소방관의 집중력을 저하시켜 무전을 통한 육성 전달에 의존하고 있는 소통에 어려움을 유발하며, 상황에 따른 임무 변화는 소방전술 숙지도에 따라 오동작을 유발할 수 있다(Human Error). 따라서 인간의 생명을 다루는 현장 상황은 즉각적이어야 하며, 정확한 상황 판단이 없을 경우 인명피해로 이어질 수 있다(Time Critical).

위 사례에서 살펴볼 수 있듯이, 일반적인 대규모 환경의 복잡계 문제뿐만 아니라 상대적으로 작은 규모의 환경에서도 복잡계의 특성을 갖는 공간이 얼마든지 존재하며, 이러한 공간에서도 현장 상황에 따라 분산 지능사물의 협업, 소방활동 효율화를 위한 미션(구조, 소방, 구급) 해석과 역할 분배, 자가학습을 통한 소방전술 개발에 효과적인 해결방법이 될 수 있다.

2. 분산지능(Distributed Intelligence)

분산지능은 한 곳에서 풀기 어려운 복잡계 문제를 지능을 갖는 에이전트를 분산시켜 해결하는 기술로써 (그



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

(그림 5) 분산지능의 기술적 분류

림 4)과 같이 국지적인 정보를 통해 국지적 최적화를 수행하고 이러한 결과들이 전역적인 최적화 효과를 발생시키는 형태로 문제를 해결하게 된다.

분산지능은 DPS(Distributed Problem Solving), MAS(Multi-Agent System), SI(Swarm Intelligence), PAI(Parallel AI) 등으로 구분되며 각각의 차이는 아래와 같다[6], [(그림 5) 참조].

- DSP: 하나의 커다란 문제 해결을 위해 문제를 나누고, 분산된 노드에서 처리하고, 부분적 결과를 매시업 하여 최종 결과를 도출하는 방법.
- MAS: 각기 다른 관심과 목적을 갖는 이종의 분산 노드 환경에서 각 노드들은 협업과 경쟁, 동의와 부정의 과정으로 결과를 도출.
- SI: 동일한 관심과 목적을 갖는 동종의 분산 노드 환경에서 마스터 플랜 없이 각 노드의 단순한 절차를 통해 결과를 도출.
- PAI: 병렬처리 시스템을 활용한 AI.

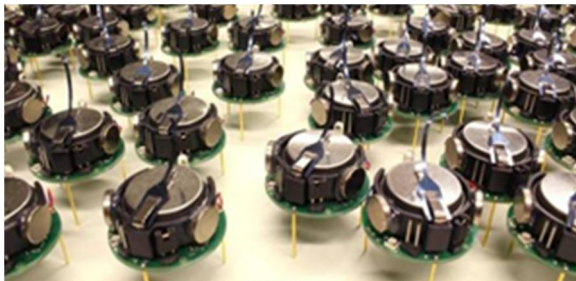
분산지능의 분야 중 DPS는 방법적인 특성을 가지며, PAI는 병렬처리 시스템을 기반으로 하고 있으므로, 본고에서는 IoT와 관련성이 높은 군집지능과 멀티에이전트 시스템에 대해서 알아본다.

3. 군집지능(Swarm Intelligence) 기술 동향

군집지능 기술은 앞 절에서 기술한 바와 같이, 동일한

특성의 노드들이 동일한 규칙이나 물음 기반으로 미션을 수행하는 기술으로써, 특히 군집지능을 활용한 로봇 제어기술 개발이 활발하게 진행되고 있으며, 복수의 무인기와 물류 로봇 제어의 충돌방지 및 경로 최적화 등에 활용되고 있다. 군집로봇에 대한 연구는 군집을 이루는 생명체를 모방하여 로봇들 간의 직접적인 정보 교환 없이 개별적 행동의 집합이 군집 지능으로 발현되는 좁은 의미의 군집로봇, 즉 스웜 로봇에 집중해 온 경향이 강하다. 실제적으로 활용도가 높은 군집로봇은 전체 로봇팀의 임무를 결정하고 상호 간 교신하며 역할을 분담하여 작업하는 방식으로 운영체계를 갖추어야 하는데, 이를 지원하는 표준 아키텍처의 부재가 큰 문제로 대두되고 있다.

국내 항공우주연구원은 군집지능을 활용하여 복수 무인기용 군집지능 시스템 및 통신망 구성 최적화, 작업 경로에 따른 매니플레이터 변수 최적 설계 등의 연구를 진행하고 있다. 하버드대 자가조직시스템센터에서 만든 킬로봇(Kilobot)은 1,000여 개의 작은 로봇이 협업하여 이미지를 만드는 것이 가능하며, 향후에는 환경을 정확히 하거나 결합하여 건축물을 만드는 등의 여러 가지 임무 수행이 예상된다[그림 6] 참조]. 노스캐롤라이나 주립대 연구진은 무너진 건물과 같은 미지의 환경에 대해 지도를 작성할 수 있는 바이오봇(Biobot)이라는 곤충 사이보그 무리를 개발하였으며, 카이스트는 리더 로봇을 중



(그림 6) 하버드대 킬로봇

[출처]: Harvard University, "Kilobots," CC BY-NC-SA 3.0, <https://ssr.seas.harvard.edu/kilobots>



(그림 7) 해파리퇴치 로봇 제로스

원본: KAIST, "명현 교수, 해파리 퇴치용 군집 로봇 개발," KAIST 웹 뉴스, 2013. 8. 19.

심으로 나머지 8대 로봇이 일정한 거리와 각도를 유지하면서 이동하는 형태의 군집 해파리 퇴치 로봇 제로스(Jeros)를 개발한 바 있다[그림 7] 참조]. 아마존은 물류 관리용 KIVA 로봇의 경로 설정, 충돌 회피 등에 군집지능을 활용하여 창고 물류의 혁신을 이룬 바 있다.

EU는 2016년부터 H2020을 통해 CPSwarm 이라는 프로젝트를 수행하고 있으며 프라운호퍼를 비롯한 총 8개의 기관이 공동연구를 수행하고 있다. CPSwarm에서는 분산된 CPS 간 협업을 하기 위한 각종 틀체인을 제공하고, 다양한 목적에 따라 모델별 라이브러리를 제공하여 시뮬레이션을 수행하며 실 환경과 연계를 시킬 수 있는 CPS 간 자율적 통합운용환경 개발을 목표로 하고 있다.

이밖에도 미국에서 2013년부터 조직된 TerraSwarm은 UC Berkeley 등 10개 대학과 DARPA, IBM, 인텔 등이 참여하여 군집 연구를 수행 중이며, 군집 기술과 관련된 플랫폼의 OS, 클라우드 연계, 모델링과 방법론, 각종 응용 서비스 등 전 분야에 대한 연구를 수행하고 있다.

4. 멀티 에이전트 시스템

멀티에이전트 시스템은 복잡계 문제를 해결하기 위해 다수의 에이전트가 상호작용하여 임무를 수행하는 시스

템이다. 멀티 에이전트 시스템은 1990년대 제안된 이후 현재까지 특정 문제를 모델링하고 시뮬레이션하는 분야에 가장 많이 쓰이고 있으며, 이러한 멀티 에이전트 시스템을 가장 잘 홍보한 사례는 로봇 축구이다.

최근 인공지능 분야도 개별 단위 인공지능에서 사회성, 협력, 경쟁 모델을 가진 멀티 에이전트 기반 인공지능으로 발전하고 있으며, 멀티 에이전트 환경에서 에이전트가 다른 에이전트의 영향을 받아 강화 학습을 수행하는 분야가 인공지능 학계의 큰 트렌드가 되고 있다.

VR 엔진 중 하나인 유니티엔진(Unity)에서는 인공지능 에이전트(Machine Learning Agents)를 추가하여 VR을 통해, 에이전트끼리 경쟁, 협동, 분업이 필요한 상황에서 발생 가능한 복잡한 멀티 에이전트 시스템을 연구할 수 있도록 하고 있다. 미국 NSF에서 후원한 ‘미국 로보틱스 로드맵-인터넷에서 로보틱스로(2016)’ 중 멀티 에이전트 기반의 다중-로봇 기술에 따르면, 제조업, 물류(창고관리), 네트워크 연장, 재난감시, 건설 등 다양한 분야에서 멀티 에이전트 시스템이 활용되지만, 현재 기술수준은 단순한 동종 로봇집합을 제어하는 수준에 머무르고 있으며, 향후 이기종 로봇의 제어와 단시간에 동작을 최적화하는 기술의 개발이 필요한 것으로 보고되고 있다.

분산능력이 구현되는 IoT 환경은 일반적으로 불특정한 이종의 디바이스들이 상호 간에 연결되어 정보를 교환하고 각기 다른 관점의 결론을 통해 의사결정을 하는 시스템으로 멀티 에이전트 시스템이 가장 유사하다. 이러한 특성은 복잡계 문제의 해법으로 많은 주목을 받고 있으며, 다음과 같은 분야에 활용이 가능할 것으로 기대된다[7].

- 생산관리, 수요공급체인 및 로지스틱스 분야에서는 생산 스케줄링 및 리소스 분배, 유동적인 차량 및 제품 라우팅 기술.
- 교통관제의 경우 복잡한 상황/환경에서의 교통 흐름 최적화 방안, 차량 간의 커뮤니케이션, 공

중의 교통관제 기술 등.

- 에너지 및 스마트 그리드 분야에서는 대규모 네트워크의 에너지 생산자와 소비자 모니터링 및 매니징, 재사용 가능한 리소스의 재분배, 효율적으로 다수의 전기차를 충전하는 방법[8] 등의 세부 분야.
- 빌딩 및 홈 오토메이션 분야는 분산된 오토메이션 기계들의 네트워크 모니터링 및 매니징 기술 분야가 존재하며, 멀티 에이전트에 기반한 지능적인 제어 시스템을 활용하여 빌딩에서의 효율적인 에너지 및 편의 관리 시스템 개발이 가능[9].
- 국방 및 방어체계에선 감시, 패트롤, 안전한 수송, 미지 탐사 등의 목적의 다중 로봇 그룹 컨트롤 및 제어에 적용 가능.
- 네트워크 보안의 경우 분산된 네트워크 트래픽 분석 및 공격 감지 등의 적용 분야가 존재.

이러한 다양한 적용 가능성에도 불구하고, 현재 멀티 에이전트 시스템의 실제적 적용 성공 사례는 컴퓨터 게임과 같이 가상공간의 복잡계 문제에 제한적이며, 현실 세계와 결합된 성공사례는 아직 찾아보기 어렵다[10].

5. 분산 합의 기술

합의는 어떤 의견을 가진 주체들이 서로 간의 논의 과정을 거쳐 결론에 이르는 것을 의미한다. 분산된 다수 의견에서 하나의 결론으로 도출하는 과정은 인간에게도 간단치 않은 과정이다. 사회학에서 말하는 인간의 합의 방법은 통계적 합의와 논의적 합의 두 가지로 구분된다[11].

통계적 합의란, 개개인의 생각이나 판단이 타인에게 영향을 주지 않는 환경에서 객관적으로 취합되어 결론에 이르는 합의 과정을 말하며, 개개인의 올바른 판단의 확률이 높을 경우 정확도가 높은 결론이 도출될 가능성이 높아지는 방법이다.

논의적 합의란, 구성원들이 생각을 서로 간의 논의를

통해 교환하면서 하나의 결론을 도출하는 일반적인 인간의 회의 과정을 포함하는 과정으로, 권위자 혹은 빅마우스의 의지에 의해서 잘못된 결론에 이르는 경우가 종종 발생하는 것으로 알려져 있다.

멀티 에이전트 시스템에서는 인간의 합의 과정을 모방하여, 오래전부터 에이전트 간 결론 도출을 위한 다양한 알고리즘들이 개발되어 왔다. 콩도르세 조건을 기반으로 하는 Voting 알고리즘을 비롯하여 Ranking, Auction 등의 기법들이 활용이 가능하며, 게임이론에 입각한 다양한 알고리즘들이 존재한다.

최근에 급부상하고 있는 블록체인 기술은 누군가의 보증 없이 내용을 신뢰할 수 있게 해주는 기술로써, 거래 보증을 위한 많은 비용이 발생하던 기존 방법을 개선할 수 있는 기술로 주목을 받고 있다. 블록체인 기술의 핵심은 블록체인에 가입된 분산된 노드들이 모든 트랜잭션 정보 및 자산 결정 기록을 공유하고, 정보에 대한 수정을 불가능하게 하는 분산 DB와 프로토콜 기술이라 할 수 있다. 특히, 멀티에이전트 시스템의 의사 결정에 있어서 중요한 합의의 도구로 블록체인의 합의 기술인 분산합의(Distributed Consensus) 및 이력 맥락(Historical

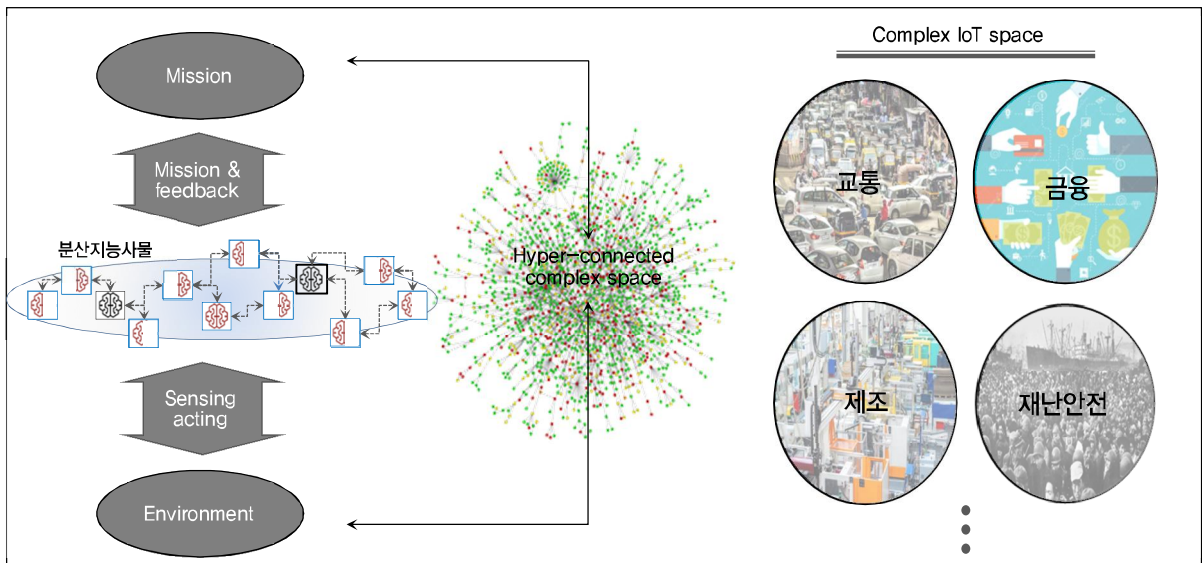
Context)의 사용이 가능한 것으로 알려져 있다. 그러나, 구현된 블록체인 플랫폼의 육중함은 일반적인 IoT 환경에의 활용에 한계가 있다는 점, 합의의 대상이 신규 블록 결정에 한정되어 제한적이라는 점이 극복되어야 폭넓은 활용이 가능할 것으로 보인다.

III. 결론 및 향후 계획

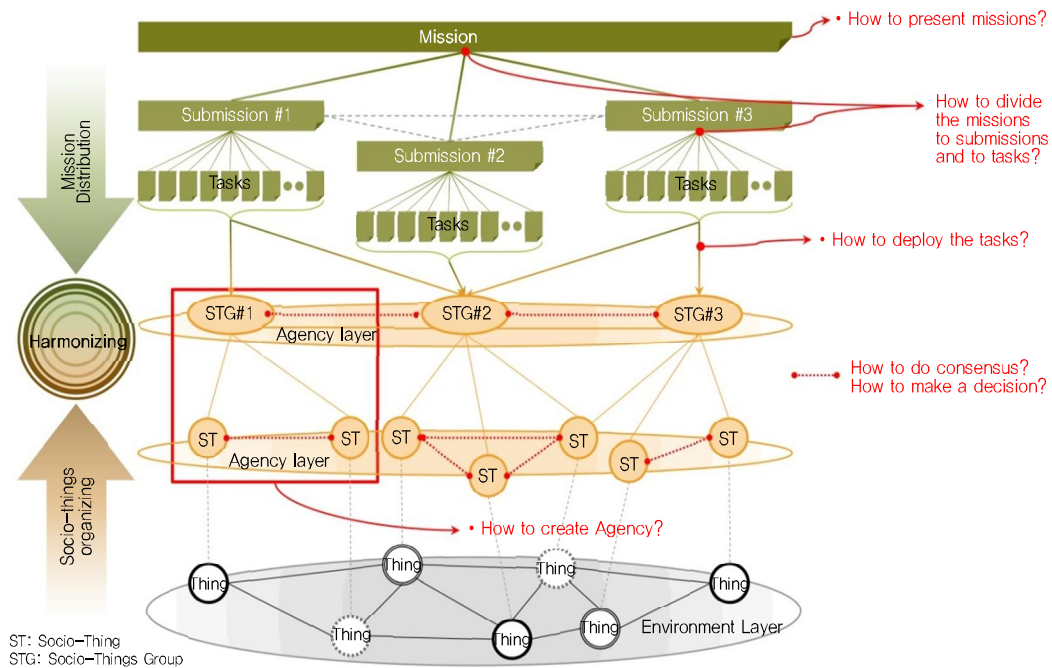
IoT 2.0 시대로 진입하면서 현실 사회의 많은 문제가 복잡계 형태로 구성된 초연결 공간으로 실체화되어가고 있다. 본고에서는 지난 20여 년간 복잡계 문제 해결의 해법으로 제시되어 온 분산지능에 대해서 대략적으로 살펴보았다. 기술한 바와 같이 다양한 알고리즘들과 해결방법들이 제시되어 왔지만, 이론 중심이거나, 게임, 시뮬레이션 수준이었다.

IoT와 인공지능 기술은 현실사회 전반적인 새로운 혁명을 이끌고 있으며, 이 흐름은 분산지능 기술에도 영향을 줄 것으로 예측된다. ETRI는 즉시성과 예측불가의 특성을 갖고 있는 복잡계 문제 해결을 위한 분산 사물지능의 협업 기술 개발을 추진하고 있다.

같은 자극에 대해 예측하기 어려운 피드백을 발생시



(그림 8) 초연결복잡계 공간의 IoT기반 분산지능 개념도



(그림 9) Socio-Things 기반 복잡계 해결 기술 추상도

키는 환경, 그리고 인간의 언어와 의미로 부여되는 임무, 이 두 가지를 이해하고 최적에 근사한 수준으로 목적을 달성하는 것은 매우 복잡하고 도전적인 일이다. 어떻게 미션을 표현할 것인가? 어떻게 미션을 태스크로 분할할 것인가? 어떻게 태스크를 사물에 배치할 것인가? 각 에이전트의 결정을 어떻게 도출할 것이며 어떻게 합의할 것인가? 임무 수행을 위해 어떻게 사물을 그룹핑하여 에이전트화 할 것인가? 그리고 결과물로 만들어진 시스템을 어떻게 환경과 미션에 독립적으로 만들 것인가? 등은 높은 난이도와 함께 큰 파급력을 가지게 될 것이다[(그림 8) 참조]. 이러한 새로운 시도를 표현하기 위해서 IoT 2.0 시대의 현실 IoT 공간에서 동작하는 에이전트를 Socio-Things(사회적 사물)로 명명하고 상호간 협업, 합의를 할 줄 아는 Socio-Things와 초연결 공간에 주어진 미션의 자율적 인지 기술 개발을 추진 중이다[(그림 9) 참조].

IoT 2.0 시대에 걸맞는 분산지능 기술의 실제적인 구현과 활용을 기대해 본다.

약어 정리

CPS	Cyber Physical System
DSP	Distributed Problem Solving
IoT	Internet of Things
MAS	Multi-Agent System
NSPL	No Single Point of Location
PAI	Parallel Artificial Intelligence
SI	Swarm Intelligence
VR	Virtual Reality

참고문헌

- [1] Statista, "IoT Connected Devices Installed Based Worldwide from 2015 to 2025," Accessed 2017. <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>
- [2] 조영입, "인공지능 기술 동향 및 발전 방향," 주간기술동향, IITP, 2016. 2, pp. 13-26.
- [3] Y.N. Harari, "Sapiens: a Brief History of Humankind," New York, USA: Harper, 2011.
- [4] T.N. Gutierrez, L. Ciarletta, and V. Chevrier, "Multi-agent Simulation Based Control of Complex Systems," *Proc. Int. Conf. Autonomous Agents multi Agent Syst.*, Paris, France,

- May 5-9, 2014, pp. 1517-1518.
- [5] Wikipedia, "Distributed Intelligence," Accessed 2017, https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_artificial_intelligence
- [6] 박형근, 김영훈, "인더스트리 4.0, 독일의 미래 제조업 청사진," 포스코 경영연구소 POSRI보고서, 2014. 2.
- [7] P. Leitão, V. Mařík, and P. Vrba, "Past, Present, and Future of Industrial Agent Applications," *IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol. 9, no. 4, Oct. 2013, pp. 2360-2372.
- [8] E.L. Karfopoulos and N.D. Hatziaargyriou, "A Multi-agent system for Controlled Charging of a Large Population of Electric Vehicles," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 2, Sept. 2013, pp. 1196-1204.
- [9] R. Yang and L. Wang, "Development of Multi-agent System for Building Energy and Comfort Management Based on Occupant Behaviors," *Energy Buildings*, vol. 56, Jan. 2013, pp. 1-7.
- [10] D. Jarvis et al., "Multi-agent Systems," in *Multiagent Systems and Applications*, Berlin, Heidelberg, Germany: Springer, 2013, pp. 1-12.
- [11] C.R. Sunstein, "Wiser," 위즈덤하우스, 2015.