

사물인터넷과 클라우드 컴퓨팅의 융합에 대한 연구

Research on Convergence of Internet-of-Things and Cloud Computing

저자 (Authors)	최경, 김미희 Kyung Choi, Mihui Kim
출처 (Source)	한국콘텐츠학회논문지 16(5) , 2016.5, 1-12 (12 pages) JOURNAL OF THE KOREA CONTENTS ASSOCIATION 16(5) , 2016.5, 1-12 (12 pages)
발행처 (Publisher)	한국콘텐츠학회 The Korea Contents Society
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06683835
APA Style	최경, 김미희 (2016). 사물인터넷과 클라우드 컴퓨팅의 융합에 대한 연구. 한국콘텐츠학회논문지, 16(5), 1-12.
이용정보 (Accessed)	성균관대학교 203.252.34.*** 2018/03/20 13:43 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

사물인터넷과 클라우드 컴퓨팅의 융합에 대한 연구

Research on Convergence of Internet-of-Things and Cloud Computing

최경*, 김미희**

한경대학교 컴퓨터공학과

Kyung Choi(cbk0907@gmail.com)*, Mihui Kim(mhkim@hknu.ac.kr)**

요약

사물인터넷 기술은 다양한 사물 및 인간에게서 생성되는 정보를 전산화하여 인터넷을 통해 연결함으로써 다양한 분야에 적용되고 있다. 사물인터넷의 스마트 기기들은 저전력, 저용량, 제한된 처리 능력 등의 한계적 특성들을 보완하기 위해 클라우드 컴퓨팅 기술과 접목되며 이제 하나의 패러다임으로 자리매김하고 있다. 본 논문에서는 사물인터넷과 클라우드 컴퓨팅 기술의 정의, 특징, 및 서비스들을 살펴보고, 사물인터넷과 클라우드 컴퓨팅 융합의 필요성과 기존 융합 패러다임 및 융합 사례, 플랫폼들을 조사, 분석하였다. 그 결과, 사물인터넷의 여러 제약점들을 클라우드의 특징으로 보완하여 확장성, 상호운용성, 신뢰성, 효율성, 가용성, 보안성, 접근 용이성, 사용 용이성, 배치 비용 감소 등의 다양한 장점들이 제공됨에도 불구하고 해결해야 할 과제들이 존재하였다. 이러한 융합 패러다임의 새로운 이슈들을 분석하고, 융합을 위해 해결해야 할 연구 과제를 제언한다.

■ 중심어 : | 사물인터넷 | 클라우드 컴퓨팅 | 융합 패러다임/플랫폼 | 연구 동향 |

Abstract

Internet of Things (IoT) technologies have been computerized information generated from a variety of objects and humans, and have been applied to various fields by connecting via the Internet. In order to compensate for the marginal characteristics of IoT smart devices, such as low-power, limited processing and capacities, combining IoT and cloud computing technologies is now established itself as one of the paradigms. In this paper, we look at the definition, features and services of IoT and cloud computing technology, and we investigate and analyze the converging needs of IoT and cloud computing, existing conversion paradigms, convergence cases, and platforms. In results, there are challenges to be solved, even though the cloud technologies complement a number of restrictions of IoT and offer various advantages such as scalability, interoperability, reliability, efficiency, availability, security, ease of access, ease of use, and reduced cost of deployment. We analyze the new research issues of convergence paradigm, and finally suggest a research challenges for convergence.

■ keyword : | Internet-of-Thing (IoT) | Cloud Computing | Convergence | Research Trend |

I. 서론

사물인터넷, 즉 IoT(Internet of Things) 기술은 2000

년 초부터 USN(Ubiquitous Sensor Network)이라는 이름으로 활발한 연구 개발과 사업화가 추진되어 왔으며, 2005년 ITU(International Telecommunication Union)

* 이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. 2015R1D1A1A01057362).

접수일자 : 2016년 01월 25일

수정일자 : 2016년 02월 11일

심사완료일 : 2016년 02월 11일

교신저자 : 김미희, e-mail : mhkim@hknu.ac.kr

에서 “모든 사물에게까지 네트워크 연결을 제공하는 네트워크의 네트워크”라는 정의를 시작으로 사물인터넷과 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 사물 인터넷은 다양한 사물 및 인간에게서 생성되는 정보를 전산화하여 인터넷을 통해 연결함으로써, 가전분야, 자동차 분야, 농업분야, 의료, 스마트 그리드, 스마트 홈, 스마트 시티 등 다양한 분야에 적용되고 있다[2].

스마트 기기를 비롯한 수십 억 장치들의 1조 개 연결, 이를 통한 거대한 데이터 생성, 처리, 가공, 저장 및 활용을 위한 스마트 기기들의 저전력, 저용량, 제한된 처리 능력 등의 한계적 특성들을 보완하기 위한 클라우드의 접목은 이제 하나의 패러다임으로 자리매김하고 있다. 사물인터넷과 클라우드와의 통합은 이중의 다양한 기기, 기술, 프로토콜들을 활용하여 확장성, 상호운용성, 신뢰성, 효율성, 가용성 및 보안성을 더 가질 수 있게 되고, 접근 용이성과 사용의 용이성 및 배치의 비용 감소 등 추가적인 이점을 얻을 수 있게 된다.

본 논문에서는 2장, 3장에서 각각 이러한 사물인터넷과 클라우드의 정의와 특징 및 서비스들을 살펴보고, 4장에서 사물인터넷과 클라우드 컴퓨팅 융합의 필요성과 융합 패러다임 및 융합 사례와 플랫폼들을 조사, 분석하며, 5장에서 앞으로 해결해야 할 과제와 이슈들을 소개하며 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 사물인터넷

사물인터넷은 1999년 매사추세츠공과대학(MIT) 오

토아이디센터(Auto-ID Lab)의 소장 케빈 애시턴(Kebin Ashton)이 처음 제안한 단어로 당시 전자태그(RFID)와 기타 센서들을 일상생활에 사용하는 사물에 탑재하여 인터넷으로 연결된 사물인터넷이 구축될 것이라고 전망했다. 과거의 RFID가 사물인터넷의 초기 단계라 할 수 있고, 발전하여 사물 통신(Machine To Machine; M2M)을 넘어선 기기, 시스템 및 서비스들의 한 단계 앞선 연결 환경을 의미한다[3]. 사물인터넷에 대한 정의는 분야별로 다양한데, 2014년 미래창조과학부에서 정의한 개념은 “사물인터넷은 사람·사물·공간·데이터 등 모든 것이 인터넷으로 서로 연결되어, 정보가 생성·수집·공유·활용되는 초 연결 인터넷”으로 정의하고 있다. 한국인터넷진흥원에서는 “사물인터넷이란 고유하게 식별 가능한 사물(things)이 만들어낸 정보를 인터넷을 통해 공유하는 환경을 의미. 사물인터넷은 기존의 유선 통신 기반 인터넷 및 모바일 인터넷보다 진화된 다음 단계의 인터넷을 의미”로 정의하고 있다[4].

사물 간 통신을 의미하는 점에서 사물인터넷과 M2M이 혼용되어 쓰이는데, 사물인터넷은 인간을 둘러싼 환경에 초점을 맞췄다는 점에 비해, M2M은 이동통신 주체인 사물을 중심으로 한 개념인 점에서 차이를 보인다[5]. 이와 유사한 단어, 약어, 하위 개념들이 존재하는데, 이를 정리하면 [표 1]과 같다[6-8].

주위 모든 사물들이 네트워크를 통해 사람과 연결되어 정보를 교류하고 상호 소통하는 사물인터넷을 이용한 가능한 서비스들은 무한하며, 국내외에서 실제 적용한 서비스 사례들도 다수 존재한다. 이러한 서비스를 [표 2]에서와 같이, 크게 사용자 중심의 편리하고 쾌적

표 1. IoT와 유사한 개념들

용어	기관	정의
M2M (Machine-To-Machine)	ETSI	인간의 직접적인 개입이 필수적으로 필요하지 않은 두 개 혹은 그 이상의 개체들 사이의 통신, M2M 서비스는 자동화된 결정 및 처리 [ETSI TS 102 689]
	IEEE	코어 네트워크 안에 있는 등록스테이션과 서버 사이의 (베이스스테이션을 통한), 또는 등록 스테이션 사이의 정보 교환, 이러한 정보 교환은 인간의 개입이 없이 수행됨 [IEEE 802.16p]
MTC (Machine Type Communication)	3GPP	인간의 개입이 필수적으로 필요하지 않은 하나 또는 그 이상의 개체들이 포함된 데이터 통신의 형태 [3GPP TS 22.368]
MOC (Machine Oriented Communication)	ITU-T	적어도 한 개체가 통신함에 있어서 인간과의 상호작용 또는 개입이 필수적으로 요구되지 않는 두 개 또는 그 이상 개체 사이의 데이터 통신의 형태 [ITU-T, Y.2061]
IOE (Internet of Everything)	Cisco	인간, 처리, 데이터, 사물들의 네트워킹 연결을 말함. IOE의 잊점은 이 연결들이 증가하여 모든 것이 온라 인화 될 때 그 가치가 만들어내는 복합적인 영향으로부터 만들어 진다.
WoT (Web of Thing)	W3C	사물과 그들의 가상화 표현을 위한 응용 및 서비스 개발을 용이하게 하는 웹기술의 역할 [W3C WoT CG]
	ITU-T	(물리적으로 또는 가상화되어) 사물들이 연결되고 WWW을 통해 제어되는 IoT를 현실화하는 방법 [ITU-T Y.2063]

한 삶을 제공하는 개인 IoT, 생산성과 효율성 향상 및 신 부가가치 창출을 유도하는 산업 IoT, 살기 좋고 안전한 사회 실현을 위한 공공 IoT, 세 가지 분류로 정의해 볼 수 있다[5].

사물인터넷의 특징을 우선 장치 측면에서 살펴보면, 다양한 장치 유형들로 처리 능력들도 다르고 서로 다른 이기종의 장치들을 지원하기 위한 응용 프로그램들도 필요하며, 이러한 장치들을 그룹화 할 수 있으며, 장치 유형들 중에는 이동성을 가진 유형들도 존재한다. 대부분의 장치들이 센서와 같이 소형, 낮은 전력량, 제한된 전송 범위, 복잡한 센싱과 컴퓨팅 능력을 보유한 장치들이다. 기존 네트워크 서비스와 다른 점을 살펴보면, 기존과는 다른 서비스 시나리오들, 데이터 위주 통신, 저비용과 노력, 잠재적으로 매우 많은 수의 연결을 통한 통신, 고 확장성, 터미널 당 적은 트래픽, 다양한 데이터 통신 유형 등을 들 수 있다. 이러한 특징들과 더불어 원격 제어 및 관리가 가능하다는 점과 보안에 취약한 요인들이 늘어나서 보안 강화의 필요성이 점점 대두되고 있는 시점이다.

III. 클라우드 컴퓨팅

IEEE에서는 클라우드 컴퓨팅을 “정보가 인터넷 상의 서버에 영구적으로 저장되고 데스크탑이나 테이블 컴

퓨터, 노트북, 벽걸이 컴퓨터, 휴대용 기기 등과 같은 클라이언트에서는 일시적으로 보관되는 패러다임이다.”라고 정의하고 있다[9]. 즉, 사용자는 특정 시스템이나 애플리케이션을 가지고 있지 않더라도 서버의 하드웨어나 소프트웨어를 인터넷을 통해 사용할 수 있게 하는 서비스이다. 이러한 서비스는 초기 구축비용을 줄여주고, 다수의 서비스 제공자와 기반시설 제공자들이 (Multi-tenancy) 데이터 센터에 위치하여 계층구조를 가지고 각 계층의 기능에 집중하여 책임을 지고 있으나 상호 연결성에 대한 이해와 관리를 요구한다. 클라우드 시스템은 공유자원을 관리하며 필요시마다 동적으로 자원을 제공하고, 지리적으로 여러 시스템이 분산 존재하여 언제 어디서나 서비스를 이용할 수 있다. 또한 서비스는 사용자의 필요에 따라 온디맨드로 이용하며 그 사용량에 따라 이용요금이 책정되는 특징이 있다[10].

클라우드 컴퓨팅 시스템은 그 서비스를 어디에 배치하는가에 따라 다음 세 가지로 분류된다. 공용(Public) 클라우드, 사설(Private) 클라우드, 혼합형(Hybrid) 클라우드가 그것이다. 첫째, 공용 클라우드는 서비스 제공업체가 서버, 스토리지 등의 IT 인프라를 구축하고 이용료를 받고 서비스를 기업들에게 제공하는 방식이다. 이는 성능이 좋고 초기 구축비용이 적게 들며 서비스 이용이 용이해 활용도 및 접근성이 높은 반면, 데이터나 시스템 장애 처리의 제어권을 가질 수 없다는 단점이 있다. 둘째, 사설 클라우드는 자체적으로 구축한 클

표 2. IoT 주요 서비스

분류	서비스	내용
Private IoT	Car as a Service	차에 인터넷 연결 → 안전과 편의를 제공하는 드라이빙 가능 예) 긴급구호를 위한 자동화된 운전, 인간 개입 없는 자동화된 서비스 등
	Healthcare as a Service	심장박동수, 운동량 등 IoT 정보 제공 → 개인 건강 증진 예) 팔찌 등을 이용한 심장박동수, 보건의 서비스 등
	Home as a Service	거주환경을 통합 제어하는 IoT → 생활의 안락함 및 안전 개선 예) 전자제품, 원격 제어, 홈 CCTV 서비스 등
Industry IoT	Factory as a Service	처리 분석 및 모니터링 편의시설 → 효율성 및 안전성 증진 예) 생산품의 실시간 모니터링, 위험요소 탐지, 알람 서비스
	Farm/Food as a Service	생산, 처리, 분배의 IoT 조합 → 생산성 및 안전성을 향상시키는 분배 시스템 제공 예) 스마트 농장, 음식 생산을 위한 정보서비스, 분배 이력 서비스 등
	Product as a Service	IoT 생산품 → 부가가치 서비스를 제공하는 생산 가능 Ex) 돼지 사육 관리, 심장박동 소리를 제공하는 베키, 이동패턴을 분석하는 신발
Public IoT	Public Safety as a Service	CCTV, GPS를 가지고 IoT 정보 제공 → 재난 방지 예) 아동과 노인을 위한 안심 서비스, 재난 예방 서비스 등
	Environment as a Service	공기의 질, 쓰레기양 등 IoT 정보 제공 → 환경오염 최소화 예) 스마트 환경 정보 제공, 스마트 쓰레기 서비스 등
	Energy as a Service	에너지에 관련된 IoT 정보 제공 → 에너지 관리 효율성 증대 예) 스마트 빌딩 에너지 관리, 스마트 미터링, 스마트 플러그

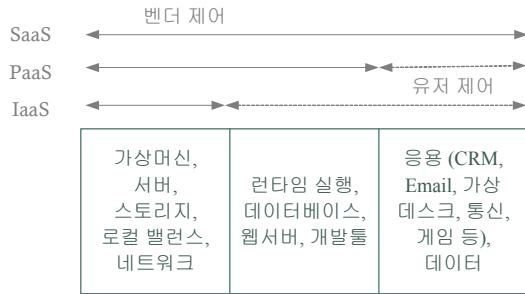


그림 1. 클라우드 컴퓨팅 인프라스트럭처 시스템에 따른 분류

라우드 환경에서 기업이 필요한 특화된 서비스를 만드는 방식으로 데이터에 대한 신뢰와 안전성이 높은 장점이 있으나 구축 및 운영 비용문제가 존재한다. 이러한 장단점을 상호 보완하고자 혼합형 클라우드가 나왔다. 이는 시스템을 사용하는 목적에 따라 성능 및 접근성이 중요하면 공용 클라우드를, 유연성이나 기밀유지 등이 중요하면 사설 클라우드를 사용하게 하는 구조이다[11].

또한 클라우드 컴퓨팅 시스템은 인프라 시스템 모델에 따라 IaaS(Infrastructure as a Service), PaaS(Platform as a Service), SaaS(Service as a Service) 세 가지로 분류한다[그림 1]. IaaS는 서버 운영에 필요한 가상머신, 서버자원, 네트워크, 스토리지 등 여러 인프라를 제공하는 서비스이다. 이는 자원을 쉽게 추가, 제거 할 수 있으며 운영체제를 제공하므로 사용자에게 친숙한 환경이 제공되는 반면, 추가적 환경 설정을 해야 하는 단점이 있다. PaaS는 서비스를 개발할 수 있는 환경과 데이터베이스, API를 제공하는 서비스로 간편하게 원시코드를 빌드 배포할 수 있다. 하지만, 클라우드 제공 서비스 업체마다 플랫폼이 상이하여 이를 익히고 확인해야 하는 단점이 있다. SaaS는 클라우드 환경에서 동작하는 응용프로그램(이메일, 통신, 게임 등)을 사용자에게 제공하는 서비스이다. 사용자는 인터넷을 통해 언제든지 개인의 자료를 사용할 수 있으나, 사용자 데이터 제어권이 벤더에게 넘어갈 수 있어 보안 취약점 및 소유권에 대한 문제가 있다[9][11].

IV. 사물인터넷과 클라우드 컴퓨팅의 융합

수억, 수조개의 사물들이 인터넷에 연결되면서 다양한 서비스들이 우리 삶에 들어와 편리하게 만들어 주고 있다. 이런 기회는 스마트 홈, 스마트 시티, 스마트 빌딩, 스마트 그리드, 스마트 카 등 우리 생활을 자동화하며 경제성, 편리성, 안전성을 제공해 주고 우리 삶의 일부가 되어가고 있다. 하지만, 사물인터넷의 대다수를 차지하는 기기인 센서는 저전력, 제한된 계산 능력으로 인해 에너지 효율적인 데이터 전송·수집, 에너지 대체 문제 해결, 많은 수의 센서들의 배치 필요성, 또한 이에 따른 관리 문제들이 해결해야 할 과제로 남아 있다. 무엇보다도 저장용량의 한계로 인한 보안문제 특히 관리의 문제들로 인해 생기는 취약점들과 개인정보보호 등 여러 보안 문제들을 안고 있다. 센서보다 더 많은 계산 능력과 저장용량, 전송량을 가지며 더 넓은 전송 지역을 포함하고 이동성과 보안성을 가지는 모바일 기기들로 인해 사물인터넷의 제약점들이 보완되는 부분들도 있지만 여전히 기존 문제점들은 해소되지 못하고 있다. 이러한 사물인터넷 제약점들을 클라우드의 특징과 장점을 이용하여 해결하려고 하는 시도가 진행되고 있다. 이러한 사물인터넷과 클라우드의 융합이라는 새로운 서비스 패러다임을 통해 클라우드의 자원 공유와 이를 통한 물리 자원들의 가상화, 그 결과 자원 활용의 극대화를 가능하게 하고, 위치 독립적인 유비쿼터스적 접근성, 확장성과 탄력성, 그리고 사용자와 상호작용 없이 자동으로 서비스 가능한 온디맨드 서비스 특성들을 제공가능하게 한다. 이러한 신 패러다임은 이중의 다양한 기기, 기술, 프로토콜들을 활용하여 상호운용성, 신뢰성, 효율성, 가용성 및 보안성을 더 가질 수 있게 되고,

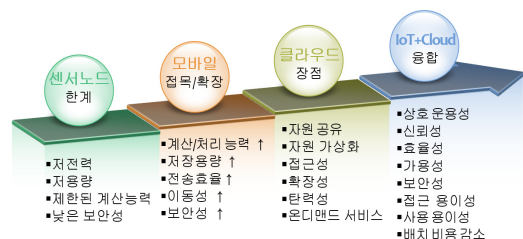


그림 2. IoT와 클라우드컴퓨팅 융합의 필요성

접근 용이성과 사용의 용이성 및 배치의 비용 감소 등 추가적인 이점을 얻을 수 있게 된다[그림 2].

4.1 융합 패러다임

클라우드와 사물인터넷이 서로간의 필요에 의해서 융합하며 생겨나는 새로운 패러다임은 크게 접근적 측면과 서비스 측면으로 나누어 볼 수 있다. 접근적 측면에서는 IoT-centric Cloud와 Cloud-centric IoT로 각각 사물인터넷 중심적이거나 클라우드 중심적인가로 보는 관점이 다르다. IoT-centric Cloud는 클라우드 기능들을 사물인터넷에 접목하는 것이고, Cloud-centric IoT는 사물인터넷 기능들을 클라우드에 가져오는 것이다. 서비스 측면은 기존 클라우드 컴퓨팅의 대표적인 서비스를 사물인터넷과 접목하며 확장되어 다양한 서비스들이 생겨나고 있다.

4.1.1 접근적 측면의 융합

IoT-centric Cloud[12]는 클라우드 컴퓨팅을 확장해서 사용자측면에서 사용자의 인접한 곳에서 데이터를 배포하고 수집하고 처리 및 저장하는 것으로, 데이터 지연과 높은 트래픽 양을 줄이고, 많은 흐름을 거치는 것을 없애고 동시에 이동 컴퓨팅과 데이터 스트리밍을 제공하는 것이다. 이는 [그림 3]에서와 같이 Local Cloud와 Global Cloud로 구성된다[13]. Local Cloud는 요구 시 생성되며, 충분한 컴퓨팅 능력, 저장 용량, 네트워크로 구성되고, 특정 지역에서 한정된 기간 동안 사용자가 요구하는 서비스를 제공할 뿐만 아니라 필요 시 서비스에 대한 추가적인 처리와 저장 용량을 제공한다. Global Cloud는 주문식의 탄력적인 처리 용량과 저장 능력을 가진 전형적인 백본 인프라스트럭처로, 기본 서비스 특성에 추가한 다양한 옵션들, 요구 시 자원의 탄력적 공급·결정을 통한 충분한 자원 제공을 통해 서비스 공급에 대한 편재성, 신뢰성, 성능, 효율성, 확장성을 제공함으로써, 서비스 제공에 대한 더 많은 기회를 제공하는 역할을 한다.

지리적으로 밀집된 분산 환경에서, 특정 지역적으로 서비스가 이루어지며 데이터 공급·처리·저장이 지원되는 환경으로 사물인터넷 장치들은 여러 관리 도메인으

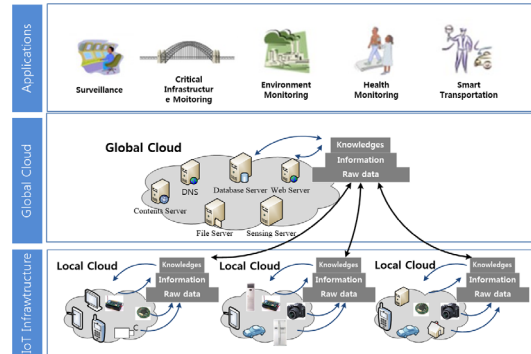


그림 3. IoT중심 클라우드의 프레임워크 개념도

로 연결된 이중의 플랫폼 상에서 지역적으로 분산되어 있다. 각 Local Cloud는 다량의 노드들(센서, 액추에이터, 스마트폰 등)을 포함할 수 있고, 데이터는 애그리게이션 되어 처리될 수 있으며 이때 애그리게이션 노드는 충분한 프로세싱 능력과 저장 공간 능력을 보유한 노드여야 한다. 이렇게 수집된 데이터들은 Global Cloud로 전송되고 실시간 빅데이터 처리와 분석을 통해 다양한 서비스가 제공된다.

Cloud-centric IoT[14]에서는 [그림 4]에서처럼 클라우드 컴퓨팅이 전체 프레임워크의 중심에 위치한다. 이는 비용을 분산함에 있어서 유연할 뿐만 아니라 높은 확장 가능성을 가진다. 센싱 서비스 제공자는 네트워크

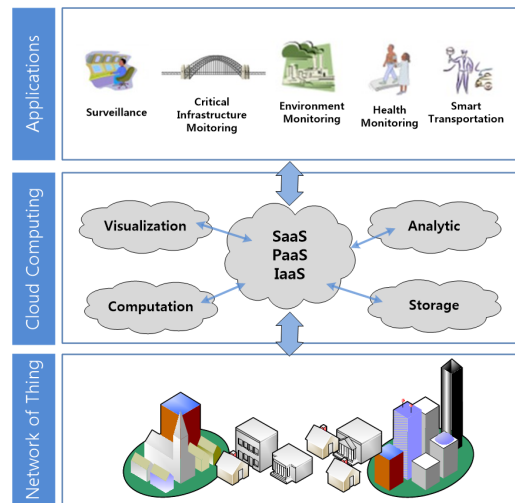


그림 4. 클라우드중심 IoT 프레임워크 개념도

에 합류해서 저장 클라우드를 사용해 데이터를 제공하고, 분석 툴 개발자는 자신들의 소프트웨어 툴을 제공할 수 있으며, 인공지능 전문가들은 정보를 지식으로 바꾸는 유용한 머신 러닝 툴들과 데이터 마이닝을 제공하며, 컴퓨터 그래픽 디자이너는 다양한 가시화 툴들을 제공할 수 있다.

이렇듯 다양한 서비스 제공자들을 통해 제공된 서비스들을 인프라스트럭처, 플랫폼, 소프트웨어 서비스처럼 서비스로서 제공되어 진다. 클라우드 컴퓨팅은 확장 가능한 저장소, 처리 능력, 그 외 다양한 툴들을 제공함으로써, 새로운 비즈니스를 구축하기 위한 모든 말단의 유비쿼터스 컴퓨팅들을 통합한다.

4.1.2 서비스 측면의 융합

사물인터넷과 클라우드의 융합 패러다임은 클라우드 서비스를 확장한 다음과 같은 새로운 서비스들을 가능하게 하고 있다.

- SaaS (Sensing as a Service) [15][16] : 센싱 데이터의 수집·분배 등 센싱 데이터에 대해 언제 어디서나 접근 가능하도록 서비스 제공. 모바일 사용자가 적극적으로 센싱 활동에 참여하는 참여 센싱 (participatory sensing)과 모바일 사용자의 직접적 참여없이 센싱 활동이 자동적으로 이루어지는 기회 센싱(opportunistic sensing)이 있음.
- SAaaS (Sensing and Actuation as a Service) [17] : 센서와 액추에이터를 이용한 클라우드를 통해 실행되는 자동 제어 로직 기능을 제공. 노드를 관리하고 SAaaS 인프라스트럭처 제공자에게 노드 정보를 제공할지 결정권을 가진 노드 사용자(node owner·administrator), 노드 사용자에게 의해 공유된 센싱·액추에이션 자원들을 수집하고 하나의 서비스로써 제공하는 역할을 하는 SAaaS 클라우드 제공자(SAaaS cloud provider), 이러한 SAaaS 인프라스트럭처를 이용해 특정 서비스와 응용프로그램을 제공하는 서비스 제공자(sw application-service provider)로 구성된 시나리오를 가짐.
- SEaaS (Sensor Event as a Service) [18] : 센서 이벤트들에 의해 실행되는 메시지 서비스들의 제공.

- SenaaS (Sensor as a Service) [19] : 센서 데이터들을 서비스로 제공하는 것이 아니라 센서 관리를 서비스로써 제공하는데 초점을 맞춘 것으로 원격 센서들을 언제 어디서나 관리 가능.
- MSaaS (Mobile Sensing as a Service) [20][21] : 센서보다 더 높은 계산 능력, 저장, 충전기능, 연결성, 데이터 처리, 이동성, 보안, 사용자 선택에 의한 센싱 가능성 등 확장 기능을 가진 모바일 장치에 센서 기능을 탑재하여 센서 데이터 수집을 서비스로써 제공.
- DBaaS (DataBase as a Service) [22][23] : 유비쿼터스 데이터베이스 기능을 제공.
- DaaS (Data as a Service) [22][23] : 어떤 종류의 데이터에도 언제 어디서나 접근 가능하도록 서비스를 제공.
- EaaS (Ethernet as a Service) [22][23] : 원격 장치들에 대한 유비쿼터스 2계층 연결성을 제공.
- IPMAaaS (Identity and Policy Management as a Service) [22][23] : 정책과 신분 관리 기능에 대한 유비쿼터스 접근성을 제공.
- VSaaS (Video Surveillance as a Service) [24] : 고정·이동 비디오들을 통해 수집된 정보들을 클라우드의 SaaS, PaaS, IaaS를 통해 저장 및 복잡한 분석 기능을 제공.

4.2 융합 사례

최근 사물인터넷과 클라우드 컴퓨팅이 융합되어 제공되는 서비스 또는 연구사례가 활발히 발표되고 있고, 다음과 같은 대표적 사례가 있다.

- 스마트 공장[25][26] : OpenIoT클라우드 시스템은 생산공장 라인의 원자재 소비량을 모니터링하고, 사용된 툴 상태 체크 및 노동 효율성을 감시, 품질 검사·보증, 생산시간을 기반으로 생산 계획, 기계나 노동의 성능 감시를 가능하게 한다. 이를 위해 스마트공장 각 부분에 센서를 장착하고 해당 센싱 데이터를 수집하여 OpenIoT 클라우드 저장소에 저장한다. 사용자는 OpenIoT에서 제공하는 미들웨어를 통해 온디맨드 방식으로 KPI(Key Performance

Indicators)를 생성하고, 서비스 전달모듈과 유틸리티 관리자를 통해 적절한 센서를 선택하여 해당 KPI를 계산한다. 형상화 프레임워크를 통해 다양한 대시보드 형태로 계산된 KPI값을 가상화한다.

- 독거노인 도우미(Silver Angel)[25][27]: 도심 거주 독거노인들의 생활을 돕기 위해 비슷한 처지의 친구들과 만남을 도와주고(친구의 위치정보 공유, 만남장소 추천, 시간 알림 등), 공기오염도의 상태를 알려 주며, 가족에게 노인 위치 정보를 제공하는 서비스이다.
- 스마트 도시 집단 센싱(Urban Crowd Sensing)[25][26]: 사람들이 소지한 다양한 센서들의 정보를 수집하여 온도, 조도, 공기 오염도 등의 정보를 위치정보와 함께 제공하는 서비스이다. 이를 도시에 적용하면 스마트 도시 서비스가 되며, 이는 도시 곳곳에 장착된 다양한 센서(웹캠, 온도센서 등) 또는 사람들이 소지한 모바일기기(GPS 센서, 다양한 센서)를 통해 도시의 상태(트래픽, 날씨)들의 정보를 제공하는 서비스이다.
- 스마트 농업[25]: 농지에 장착된 여러 종류의 센서들로부터 센싱 데이터(흙의 상태, 비의 양, 태양복사량, 날씨상태인 온도·습도량, 평균 풍속 및 풍향 등의 정보)를 클라우드에 수집하여 분석하여 파종시기, 개화시기, 해충 저해용 식물 추천 등의 정보를 제공해 준다.
- 영화 추천 서비스[28]: 스마트 TV에 연결된 kinect가 사용자가 보고 있는 패턴이나 기호(preference)를 캡처하여 클라우드에 제공하고 분석하여 영화를 추천해 주는 서비스이다.
- 도로 상황정보 제공 서비스[15]: 폭설이 내려 목적지까지의 도로 제설 상황을 알고 싶을 때, 사용자는 해당 서비스 제공자(SP; Service Provider)에게 위치정보·목적지 정보를 제공하며 해당 정보를 요청한다. 이때, 서비스 제공자는 해당 서비스의 정보 제공자가 될 수 있는 후보 센싱정보 생산자(Producer)들에게 관련 정보를 요청하고, 이를 수신한 생산자들은 자신의 단말기기로 정보를 제공할 수 있다면 그 정보를 클라우드 네트워크를 통해

제공한다. 정보 제공에 대한 인센티브 메커니즘은 선택적으로 제공될 수 있다. 제공된 정보를 수집하여 사용자가 원하는 정보로 처리한 후 사용자에게 제공한다.

- 수질 모니터링[26]: 아쿠아리움 수족관에 수질을 측정하는 센서를 장착시켜 센싱된 정보(물속 산소의 양, 물속의 염도, 산도, 온도 등)를 클라우드에 수집하여 정보를 분석하여 제공하는 서비스이다.

4.3 플랫폼

사물인터넷과 클라우드의 이중성을 해결하고자 통합 개발된 오픈 소스 및 상업적 플랫폼들은 다수 존재한다.

- IoTCloud[29]: 오픈 소스 프로젝트로 스마트 폰, 태블릿, 로봇, 웹 페이지 등, 사물들과 그 데이터들을 다루는 응용 프로그램들에게 API를 제공하고 센서들과 센싱 데이터들을 관리하기 위한 백엔드 통합 지원을 위해 개발된 플랫폼이다.
- OpenIoT[30]: 유럽에서 지원받아 진행된 연구 프로젝트로, 클라우드에서 인터넷 객체들을 연결하기 위한 오픈 소스 미들웨어 플랫폼을 개발하였다. 사물들에서 생성된 메시지들을 필터링하고 수집하는 알고리즘을 개발하고, 클라우드에서 사물인터넷의 이동성을 고려한 에너지 효율적인 데이터 수집과 전송을 제공한다. 즉, 여러 인프라스트럭처 제공자들로 구성된 사물인터넷 서비스들에 주문식 액세스를 가능하도록 클라우드 기반 미들웨어를 제공한다.
- IoT Toolkit[31]: 실리콘 밸리 국방부 직할부대 및 기관 OSIOT에서는 사물인터넷을 위한 오픈 소스 및 오픈 하드웨어 개발을 지원하는 툴킷을 개발하였다. 이 툴킷으로 클라우드와 사물들을 위한 여러 프로토콜과 응용 프로그램 개발 지원을 위한 스마트 오픈 API를 제공한다.
- NimBits[32]: 클라우드에서 인간, 센서, 소프트웨어를 연결하는 데이터 로깅 서비스와 규칙 엔진 플랫폼이다. 폐쇄형 클라우드와 공개형 클라우드(주로 구글앱 엔진)에서 설치되는 PaaS를 생성하는 상용

소프트웨어로 사물들에서 만들어지는 데이터들을 수집하고 특정 조건이 확인되면 계산이나 경고를 발생한다. 이 회사에서 제공하는 클라우드 서비스에서는 소프트웨어를 무료로 사용 가능하지만 제한적인 사용만 제공한다.

- OpenPicus[33]: 이탈리아 회사에서 개발하였고 WiFi나 GPRS 연결 가능한 오픈 하드웨어로 만든 사물들에 TCP/IP 스택을 실행하고 HTTP 서버 탑재 및 RESTful API를 통해 상호 작용 가능하게 한다.
- Xively[34], Open.Sen.se[35], ThingSpeak[36]: 사물들로부터 데이터를 모으고 클라우드 상에 저장하는 서비스 제공자 역할을 한다. 이 서비스들은 사물들로부터 수집된 데이터를 사용하기 위한 다른 응용 프로그램들에 API를 제공한다.
- NetLab[37]: 아두이노를 통해 비디오 영화를 제어하는 것과 같은 물리적 디지털 객체들 간에 상호 작용을 위한 툴킷으로서 CloudIn과 CloudOut이라 부르는 두 가지 위젯을 만들었는데 여러 CloudOut 서비스들과 상호작용하게 한다. 또한 주기적으로 사물들로부터 서비스들에게 데이터를 전송하거나 이 서비스들로부터 데이터를 검색 가능하게 한다.
- Sensor-Cloud[38]: 물리 센서들을 클라우드에 연결하도록 관리하는 것이 목적인 인프라스트럭처로, SensorML[39]을 사용해서 측정 프로세스와 물리 센서의 설명과 같은 물리 센서의 메타데이터를 설명한다. SensorML은 OGC(Open Geospatial Consortium)로 정의된 센서를 설명하기 위한 XML 인코딩 메커니즘으로 표준 모델이다.

4.4 이슈

사물인터넷과 클라우드의 융합 패러다임은 사물인터넷의 여러 제약점들을 클라우드의 특징인 온디맨드 서비스, 유연성, 가상화, 추상화, 확장성 등을 통해 보완하며 많은 서비스 기회를 생성하고 다양한 장점들(즉, 확장성, 상호운용성, 신뢰성, 효율성, 가용성, 보안성, 접근 용이성, 사용 용이성, 배치 비용 감소)을 제공한다.

그러나 이러한 신 패러다임은 이와 같은 많은 장점들

을 제공함에도 여전히 해결해야 할 과제들이 남아 있다 [그림 5].



그림 5. IoT와 클라우드의 융합 패러다임 이슈

장치 측면. 사물인터넷 장치들은 운영 시스템도 다양하고, 보유한 능력과 특징들도 다양할 뿐만 아니라 매우 낮은 용량의 프로세서들을 탑재한 것부터 강력한 프로세서들을 탑재한 장치들까지 다양하다. 그렇기에, 사물인터넷 기반 클라우드에서 각 장치들의 특성을 고려해서 적절한 자원을 제공하는 것이 하나의 과제가 된다. 각 사물인터넷 장치들이 가지고 있는 기능들을 최적화해서 이용하고, 더 나아가 장치들 본연의 운영뿐만 아니라 클라우드 컴퓨팅을 위해 잉여 자원들을 가상화에 참여해서 사용될 수 있도록 함으로써 수많은 장치 자원들이 효율적으로 사용될 수 있어야 한다. 이때, 장치 자체적인 운영에 영향을 주어서는 안 되며, 가상화에 활용될 경우 안정적으로 운영에 참여할 수 있도록 하여 클라우드의 자원 가상화 서비스가 탄력적이고 견고하게 이루어 질 수 있어야 한다[40].

또한, 사물인터넷 장치들이 사물인터넷 기반 클라우드에 참여함으로써 발생하는 추가적인 계산과 데이터 전송은 부가적인 전력 소모를 일으킨다. 이에 따라 장치들이 전력 사용량을 최소화해서 지능적으로 계산을 실행할 수 있는 스마트 알고리즘과 스케줄러가 필요하다.

데이터 측면. 사물인터넷에서 생성된 데이터들은 비구조 자료이거나 반구조적인 자료들이 대부분이다. 이런 데이터들이 모인 빅데이터는 클라우드 서비스에서 실시간 분석 및 처리되고 다양한 서비스 공급 기술들에

의해 사용되어진다. 또한 엄청난 양의 빅데이터들은 클라우드를 통해 분산 저장이 가능하다. 이러한 빅데이터들을 안전하고 효율적으로 관리할 수 있는 데이터베이스 관리 시스템이 필요한데, 아직은 이를 충족할 만한 데이터 관리 솔루션들은 없는 실정이다.

인프라스트럭처측면. 기존 사물인터넷 서비스는 모든 시스템 요소들이 특정 응용프로그램 내용에 특화되고 독립적인 수직 솔루션들로 제공된다. 각각의 응용 서비스들을 위해 서비스 제공자들은 서비스하고자 하는 응용프로그램들의 요구사항을 분석하고 하드웨어 장비들을 선택하고 이종의 서브시스템들을 통합하고 응용프로그램을 개발하여 서비스 유지관리를 제공하는 등 응용서비스들을 위한 인프라스트럭처 환경을 분석해서 맞춰야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 클라우드 서비스의 PaaS와 같은 모델을 활용하여 사물인터넷 응용 서비스의 효율적인 분산 배치 및 확장이 수월한 사물인터넷 서비스 제공이 가능해 진다. 하지만, 다양한 이종의 장치들과 장치들로부터 생성된 데이터들을 효율적으로 관리하고 다양한 서비스에 맞춰 다른 수준으로 적절히 서비스될 수 있는 시스템이 필요하다.

서비스측면. 사물인터넷 장치들이 클라우드 서비스의 장치 제공에 참여할 수 있도록 장치 소유자에게 대가를 지불할 수 있어야 하고, 장치 소유자들은 클라우드에 참여하기 위해 충분한 보상을 필요로 할 것이다. 모바일 클라이언트들 또한 장치 자체적으로 실행할지 가까운 사물인터넷 기반 클라우드에서 처리를 실행할지 비용 측면에서 고려하여 결정할 필요가 있다. 이는 장치 성능을 제공하는 것뿐만 아니라 센싱, 액츄에이터, 데이터를 제공하는 것에 있어서도 마찬가지이다. 센싱이나 액츄에이터 기능을 제공하거나 장치에서 발생한 데이터를 제공하고 제공받기 위해 그에 상응한 보상이 이루어지는 다양한 서비스가 이뤄져야 한다.

보안측면. 사용자들의 데이터 보안과 개인정보보호는 중요한 이슈이다. 사용자들이 다양한 서비스에 접속해서 서비스를 받을 때, 데이터 처리와 저장 측면에서

충분히 신뢰할 수 있도록 처리되어야 하고, 데이터의 기밀성, 무결성, 가용성, 개인정보보호가 보장되어야 한다[41]. 사물인터넷 장치에서 실행되는 클라우드 서비스 관련 프로세스들은 장치의 운영 측면에서도 취약점이 발생할 수 있고, 장치에 의해 생성되고 처리되는 데이터에도 위험이 발생할 수 있다. 따라서 다양한 위치에서 사물인터넷 기반 처리 설비들 사이에서의 데이터 처리 및 이동은 안전하고 신뢰성 있게 처리되어야 한다. 결과적으로, 장치 객체들로부터 클라우드 서비스까지 신뢰성 있는 통신과 안전한 접근성 및 연결성을 제공할 수 있어야 한다.

V. 결론

사물인터넷과 클라우드를 2008년부터 2013년까지 구글 및 연구 논문들에서 얼마나 다루어지는지를 조사한 결과를 보면, 사물인터넷과 클라우드 각각에 대한 관심이나 연구들도 증가하고 있지만, 사물인터넷과 클라우드를 동시에 다루는 경향이 두드러지게 증가하고 있다 [16]. 이렇듯 사물인터넷과 클라우드의 융합은 하나의 패러다임으로 자리매김하고 있다. 이에 본 논문에서는 사물인터넷과 클라우드의 정의와 특징 및 서비스들을 살펴보고, 사물인터넷과 클라우드 컴퓨팅 융합의 필요성과 융합 패러다임 및 사례, 플랫폼들을 조사, 분석하였다. 신 융합 패러다임을 통해 확장성, 상호운용성, 신뢰성, 효율성, 가용성, 보안성, 접근 용이성, 사용 용이성, 배치 비용 감소 등이 가능하지만, 이를 위해 해결해야 할 과제들도 있다. 사물인터넷 장치들의 효율적인 자원 관리, 엄청난 양의 빅데이터 관리 시스템, 이종의 장치들을 수직적 수평적으로 레벨을 나눠 적합한 인프라스트럭처 제공, 서비스의 참여도를 높이기 위한 적절한 보상제도, 통신 보안, 데이터 보안, 개인정보보호 등의 보안 문제 등이 해결해야 할 대표적 이슈이다.

참 고 문 헌

- [1] 김시정, 조도은, "IoT(Internet of Things) 보안 기술 동향," 한국콘텐츠학회지, 제13권, 제1호, pp.31-35, 2015.
- [2] 강정호, 김형주, 전문석, "사물인터넷 시장 및 기술 동향," 한국콘텐츠학회지, 제13권, 제1호, pp.14-17, 2015.
- [3] Wikipedia, "Internet of Things," https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_Things.
- [4] K. S. Min, "Analysis on Market and Policy Trend of IoT," KISA, Internet & Security Issues, Sep. 2012.
- [5] J. Park, "Future of Internet of Things," First ed., ETNEWS, Nov. 2014.
- [6] C. S. Pyo, H. Y. Kang, N. S. Kim, and H. C. Bang, "Trends and development prospects of IoT(M2M)," The Journal of Korean Institute of Communicatins and Information Sciences, Vol.30, No.8, pp.3-8, Jul. 2013.
- [7] 3GPP TS 22.368, "Service Requirements for MTC," version 12.4.0 Release 12, Oct. 2014.
- [8] ITU-T, Y.2061, "Requirements for the support of machine oriented communication application in the next generation network environment," Jun. 2012.
- [9] Cloud Computing, https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing
- [10] Q. Zhang, L. Cheng, and R. Boutaba, "Cloud computing: state-of-the-art and research challenges," The Brazilian Computer Society, J Internet Serv Appl, pp.7-18, 2010.
- [11] S. B. Hong, "Cloud Computing Trends and Forecasts," Korean Institute of Information Technology Magazine, Vol.12, No.1, pp.29-33, Dec. 2014.
- [12] A. R. Biswas and R. Giaffreda, "IoT and Cloud Convergence: Opportunities and Challenges," 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp.375-376, Mar. 2014.
- [13] Networking Session, "IoT Centric Cloud: A catalyst for innovation in Europe," ICT 2013, Nov. 2013.
- [14] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," Future Generation Computer Systems, Vol.29, pp.1645-1660, 2013.
- [15] A. Botta, W. Donato, V. Persico, and A. Pescapè, "On the Integration of Cloud Computing and Internet of Things," 2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud, pp.23-30, 2014.
- [16] X. Sheng, J. Tang, X. Xiao, and G. Xue, "Sensing as a Service: Challenges, Solutions and Future Directions," IEEE Sensors Journal, Vol.13, No.10, pp.3733-3741, Oct. 2013.
- [17] S. Distefano, G. Merlino, and A. Puliafito, "Sensing and Actuation as a Service: a new development for Clouds," IEEE 11th International Symposium on Network Computing and Application, pp.272-275, 2012.
- [18] S. K. Dash, S. Mohapatra, and P. K. Pattnaik, "A Survey on Application of Wireless Sensor Network Using Cloud Computing," International Journal of Computer Science & Engineering Technologies, Vol.1, No.4, pp.50-55, 2010.
- [19] S. Alam, M. M. R. Chowdhury, and J. Nell, "SenaaS: An event-driven sensor virtualization approach for Internet of Things cloud," 2010 IEEE International Conference on Networked Embedded Systems for Enterprise Applications (NESEA), pp.1-6, Nov. 2010.
- [20] R. Mizouni and M. E. Barachi, "Mobile Phone Sensing as a Service: Business Model and Use Cases," 2013 7th International Conference on

- Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies (NGMAST), pp.116-121, 2013.
- [21] S. Sen, A. Misra, R. Balan, and L. Lim, "The Case for Cloud-Enabled Mobile Sensing Services," in Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing, MCC'12, pp.53-58, 2012.
- [22] A. Zaslavsky, C. Perera, and D. Georgakopoulos, "Sensing as a service and big data," arXiv preprint arXiv:1301.0159, 2013.
- [23] M. Zhou, R. Zhang, D. Zeng, and W. Qiant, "Services in the Cloud Computing Era: A Survey," 2010 4th International Universal Communication Symposium (IUCS), pp.40-46, Oct. 2010.
- [24] A. Prati, R. Vezzani, M. Fornaciari, and R. Cucchiara, "Intelligent Video Surveillance as a Service," Intelligent Multimedia Surveillance, Springer, pp.1-16, 2013.
- [25] <http://www.openiot.eu/?q=casevideos>
- [26] <http://www.libelium.com/case-studies/>
- [27] M. Henze, L. Hermerschmidt, D. Kerpenx, R. H'außlingx, B. Rumpez, and K. Wehrle, "User-Driven Privacy Enforcement For Cloud-Based Services in the Internet Of Things," 2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), pp.191-196, 2014.
- [28] I. D. Addo, S. I. Ahamed, S. S. Yau, and A. Buduru, "A Reference Architecture for Improving Security and Privacy in Internet of Things Applications," Mobile Services (MS), 2014 IEEE International Conference, pp.108-115, Jun. 2014.
- [29] <https://sites.google.com/site/opensourceiotcloud>
- [30] <http://www.openiot.edu/>
- [31] <http://iot-toolkit.com/>
- [32] <http://www.nimbts.com/>
- [33] <http://www.openpicus.com/>
- [34] <https://xively.com/>
- [35] <http://open.sen.se/>
- [36] <https://thingspeak.com/>
- [37] <http://www.netlabtoolkit.org/learning/tutorials/iot-cloud-services/>
- [38] M. yuriyama and T. Kushida, "Sensor-Cloud Infrastructure - Physical Sensor Management with Virtualized Sensors on Cloud Computing," 2010 13th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS), pp.1-8, Sept. 2010.
- [39] <http://opengeospatial.org/standards/sensorml>
- [40] R. Hasan, Md. M. Hossain, and R. Khan, "Aura: An IoT based Cloud Infrasructure for Localized Mobile Computation Outsourcing," 3rd International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (IEEE Mobile Cloud), pp.183-188, Mar. 2015.
- [41] 김재생, "사물인터넷의 기술 소개 및 정책 방안," 한국콘텐츠학회지, 제13권, 제1호, pp.18-24, 2015.

저 자 소 개

최 경(Kyung Choi)

정회원



- 1995년 2월 : 연세대학교 전산학과(학사)
- 1994년 ~ 1996년 : 동서증권
- 1999년 ~ 2000년 : 세진직업전문학교
- 2000년 ~ 2002년 : (주)청우FBS
- 2002년 ~ 2003년 : (주)미래넷
- 2003년 ~ 2006년 : (주)안랩시큐브레인
- 2008년 2월 : 이화여자대학교 정보과학 인터넷기술전공(석사)
- 2012년 ~ 2013년 : 서울시립대학교 강사
- 2014년 2월 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

- 2014년 ~ 2015년 : 성균관대학교 박사후연구원
 - 2015년 11월 ~ 2016년 2월 : 성균관대학교 컨버전스 연구소 박사후연구원
 - 2016년 3월 ~ 현재 : 한경대학교 강사
- <관심분야> : 무선 네트워크 보안, 홈 네트워크 보안, 스마트그리드 보안, 클라우드 컴퓨팅

김 미 희(Mihui Kim)

정회원



- 1997년 2월 : 이화여대 전자계산학과(공학사)
 - 1999년 2월 : 이화여대 컴퓨터학과(공학석사)
 - 1999년 ~ 2003년 : 한국전자통신연구원 연구원
 - 2007년 2월 : 이화여대 컴퓨터학과(공학박사)
 - 2007년 ~ 2009년 : 이화여대 컴퓨터학과 전임강사
 - 2009년 ~ 2010년 : 노스캐롤라이나주립대학교 연구원
 - 2011년 3월 ~ 현재 : 한경대학교 컴퓨터공학과 교수
- <관심분야> : 네트워크 성능 분석 및 보안, 무선네트워크 보안, 침입대응