



특집 05

소형 저전력 장치 기반 사물 인터넷 기술 동향

박종준·최병철 (한국전자통신연구원)

목 차 »

1. 서 론
2. 사물 인터넷을 위한 IETF 표준 동향
3. 소형 저전력 장치의 사물 인터넷 기술 동향
4. 사물 인터넷 적용 연구 동향
5. 결 론

1. 서 론

2000년대 유비쿼터스 네트워크(Ubiquitous networks)에 대한 활발한 논의는 단말의 크기와 접속능력 한계, 네트워크 호환성 및 비용 문제의 한계로 좀처럼 실용화되지 못했다. 하지만, 2000년대

중반 이후 스마트폰의 급격한 보급 확산과 무선 통신 네트워크의 확장, 그리고 착용형 컴퓨팅(Wearable computing)에 대한 빠른 기술 성장은 모든 사물이 네트워크를 통해 인간 및 사물과 직접 연결되는 사물 인터넷(Internet of Things)으로의 발전을 요구하고 있다^[1].

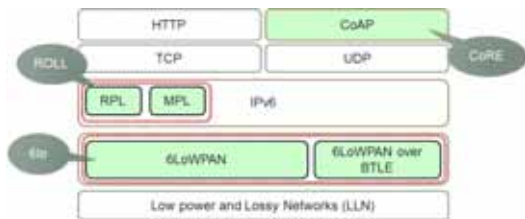


(그림 1) 사물 인터넷 서비스 및 소형 저전력 장치 연결 개념도

사물 인터넷은 (그림 1)과 같이 이미 사용중인 WiFi, LTE, Bluetooth 등의 무선 통신 장치와 더불어 가전 기기나 악세서리, 기타 소형 저전력 장치의 통합 연결을 인터넷 프로토콜을 기반으로 제공함으로써, 기존 서비스에 대한 추가적인 비용 및 개발 부담 없이 새로운 사물들의 정보를 인터넷으로 통합하여 서비스 분야를 보다 넓힐 것으로 기대된다. 하지만, 사물 인터넷은 기존의 인터넷 통신과 달리 가격 및 크기의 제약 때문에 통신 및 컴퓨팅 장치에 제약사항이 존재하며, 이를 인터넷과 연결하기 위해서는 추가적인 기술 개발 및 연구가 선행되어야 한다. 본 고에서는 사물 인터넷의 발달 및 확산에 필수적이라 할 수 있는 소형 저전력 장치의 인터넷 연결을 위한 인터넷 표준 동향과 소형 저전력 장치를 위한 사물 인터넷 기술 동향에 대해 소개한다.

2. 사물 인터넷을 위한 IETF 표준 기술 동향

사물 인터넷의 확산에 따라 수많은 장치는 독립적으로 인터넷에 연결되어야 하며, 이를 위해서는 가용 IP 주소의 증가가 필수적이다. 이에 따라 국제 인터넷 표준을 제정하는 Internet Engineering Task Force(IETF)에서는 (그림 2)와 같이 사물 인터넷에 참여하는 사물들이 IPv6 기반으로 동작할 수 있도록 각 계층에 대해 표준을



(그림 2) 사물 인터넷을 위한 인터넷 표준 기술 계층도

제안해왔다.

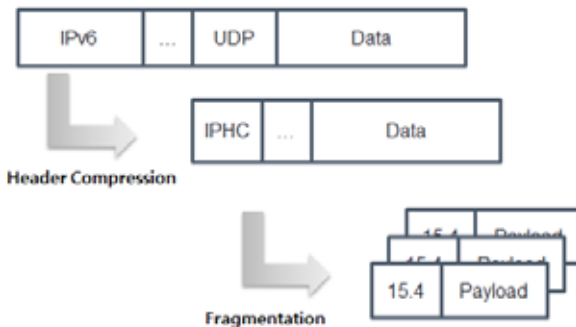
본 장에서는 그 중 저전력 통신 기술이 갖는 물리적인 제약 조건을 극복하기 위해 MAC 계층과 네트워크 계층 사이의 호환을 제공하는 6lo working group(WG)의 6LoWPAN, low-power and lossy network(LLN)를 위해 특화된 라우팅 기법을 제공하는 RoLL WG의 RPL 라우팅 프로토콜, 그리고 LLN에서 사용 가능한 응용 프로토콜을 제공하는 CoRE WG의 CoAP 프로토콜에 대해 살펴본다.

2.1 IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes (6lo)

초기 IEEE 802.15.4 기반의 소형 저전력 장치들의 IPv6 호환을 위해 IETF에서는 6lo의 전신인 6lowpan WG을 통해 (그림 3)과 같이 IPv6 주소 체계와 패킷 헤더(packet header)를 압축하고, 긴 패킷을 분할 및 재조립하는 6LoWPAN 기술을 RFC4944를 통해 2007년에 표준화하였다^[3]. 6LoWPAN 기술은 IPv6 패킷 헤더와 주소 체계의 중복성이 있거나 쉽게 예측 가능한 부분들을 압축함으로써, IEEE 802.15.4와 같이 제한적인 패킷 길이를 갖는 통신 기술에 IPv6 주소 및 헤더를 탑재하기 위한 방식을 제안하였다.

최근에는 RFC4944이후 헤더 압축 방법을 계량한 RFC6282와 6LoWPAN에서 neighbor discovery를 최적화한 RFC6775 표준이 추가 제정되었다. 이와 같이 사물 인터넷을 향한 인터넷 표준에 대한 관심이 커지자 IETF에서는 IEEE 802.15.4에 한정되지 않고 다양한 제한적인 네트워크에 IPv6를 적용하기 위해 6lowpan WG을 6lo WG으로 recharter하여 관련 표준 연구를 계속 진행하고 있다.

Ver	Traffic Class	Flow Label	
Payload Length		Next Header	Hop Limit
Source Address			
Destination Address			
필드	원래 크기	최대 압축 크기	
Ver	4 bit	0 bit	
Traffic Class + Flow Label	28 bit	2 bit	
Payload Length	16 bit	0 bit	
Next Header	8 bit	1 bit	
Hop Limit	8 bit	2 bit	
Source Address	128 bit	8 bit	
Destination Address	128 bit	8 bit	



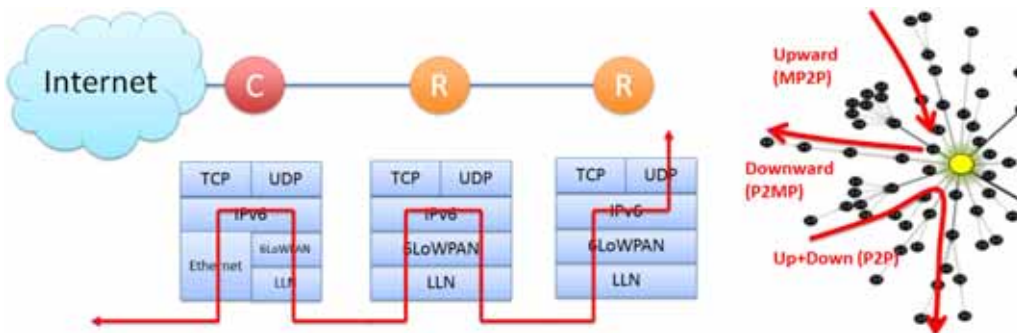
(그림 3) 6LoWPAN의 헤더 압축 및 패킷 분할 개념도

2.2 Routing Over Low power and Lossy networks (RoLL)

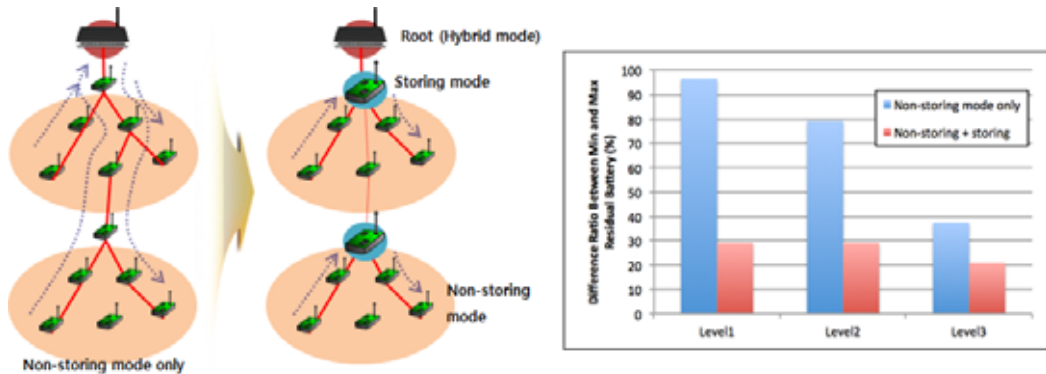
2007년 6LoWPAN 표준이 제정되자, 소형 저전력 장치를 위한 IPv6 라우팅 기법의 필요성이 대두되었다. 이에 따라 IETF에서는 RoLL WG을 통해 새로운 라우팅 프로토콜의 설계에 들어갔으며 2012년 RFC6550을 통해 RPL 라우팅 프로토콜을 표준화하였다⁴⁾.

RPL에서는 사물 인터넷 노드들로 하여금 RPL 루트(root) 노드를 향한 Destination Oriented Directed Acyclic Graph (DODAG) 기반 트리 네트워크를 형성하고, 이를 활용하는 many-to-one 라우팅을 제공한다. 하지만, many-to-one과는 달리 노드 간 라우팅 및 루트에서 노드로의 라우팅

방법은 두 가지로 나누어 제안하였다. 우선, non-storing mode에서는 루트 노드만이 RPL 내의 모든 라우팅 패스를 저장하고, 하향 라우팅(downward routing) 시 모든 경로를 source routing header(SRH)에 포함시킴으로써 라우팅을 수행한다. 이와 달리, storing mode에서는 모든 라우터 노드들이 서브 트리(sub-tree)의 라우팅 정보를 저장하여, 저장된 라우팅 테이블을 기반으로 hop-by-hop으로 하향 라우팅을 수행한다. Non-storing mode의 경우 저전력 노드가 라우팅 테이블을 유지하지 않아도 되며 라우팅을 위한 복잡한 수행을 생략할 수 있다는 장점이 있지만, 노드 간 통신에서 라우팅 경로가 필요 이상으로 길어지며 네트워크의 규모가 커지는 경우 SRH의 크기가 너무 커짐으로 인한 패킷의 비효율이



(그림 4) RPL 라우팅 개념도



(그림 5) RPL Storing/Non-storing mode 호환 기법 개념 및 성능

존재하는 단점이 있다. 반대로 storing mode에서는 보다 빠른 노드 간 통신을 제공하는 장점이 있지만, 네트워크의 규모가 커지는 경우 라우팅 테이블을 저장하기 위한 메모리가 많이 요구된다는 단점이 있다. 최근 ETRI에서는 이러한 서로 다른 두 라우팅 기법 간에 호환성을 제공함으로써 네트워크의 확장에도 유연하게 대응할 수 있는 기법을 제안하였다^[5]. (그림 5)는 ETRI에서 제안된 기법의 개념 및 이를 활용하였을 때의 전력 소모 차이를 비교한 그림이다.

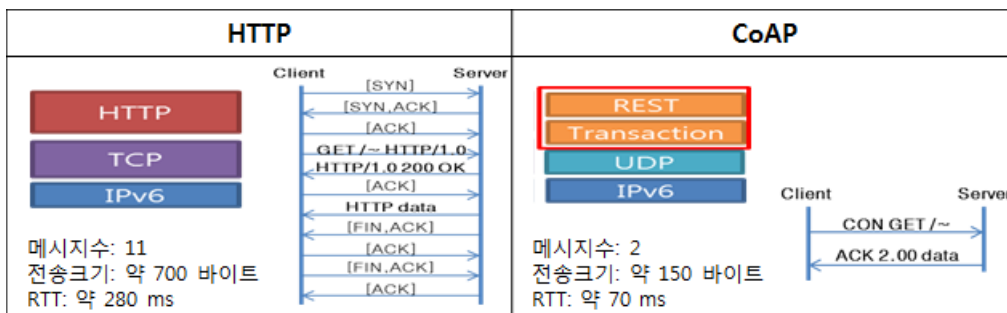
RoLL에서는 RPL 뿐만 아니라, 네트워크 관리를 위해 필요한 패킷의 전송 주기를 조절하는 trickle timer를 RFC6206으로 표준화하였으며, routing metric 설계 및 metric function을 RFC6551, RFC6552를 통해 표준화하였다. 또한, ZigBee와 같은 상위 표준화 단체의 요구에 부합하기 위한 reactive 라우팅 기법인 p2p-rpl을 RFC6997을 통해 표준화하였으며, 최근 multicast를 위한 표준화를 진행 중에 있다.

2.3 Constrained RESTful Environments (CoRE)

2007년 6LoWPAN 표준이 제정된 후, 응용 계층

에서의 효과적인 정보 전달을 위한 프로토콜의 필요성이 대두되었으며, 이에 따라 IETF에서는 CoRE WG을 통해 기존 인터넷의 TCP 기반 HTTP 프로토콜에 사용되던 RESTful 체계를 소형 저전력 장치에 적용하기 위한 UDP 기반 Constrained Application Protocol (CoAP)을 표준화하고 있다^[9].

기존 인터넷에서 사용 중인 TCP 기반 HTTP 프로토콜의 경우, 서버(server)와 클라이언트(client)는 서로 동기 패킷을 주고받고 데이터를 교환한 후 연결을 끊는 절차를 가진다. 이러한 통신 방법은 서버와 클라이언트 간에 패킷을 주고받는 과정을 서로 확인할 수 있으며 양자 간 연결을 유지할 수 있다는 장점이 있지만, LLN에서 사용하기에는 실제 데이터양 대비 전체 전송량이 크며 데이터 전송 시간도 상대적으로 느린 단점이 있다. 반면 UDP 기반 CoAP의 경우, 서버와 클라이언트 간에 데이터를 요청하고 응답하는 방식은 기존의 RESTful 구조를 유지하면서도, 불필요한 데이터를 최소화 줄여줌으로써 LLN에서도 효율적으로 동작한다. (그림 6)은 HTTP와 CoAP을 이용하여 동일한 데이터를 전송하였을 때의 전체 전송량 및 전송 시간을 보여준다. 현재 CoAP은 RFC 표준화를 진행 중이며, 올해 내에 표준이 등록될 것으로 예상된다.



(그림 6) LLN에의 HTTP와 CoAP을 이용한 데이터 전송 비교

3. 소형 저전력 장치의 사물 인터넷 기술 동향

사물 인터넷은 물리적 통신 계층이 서로 다른 장치들에 대해 인터넷 계층에서 IP를 적용함으로써 서로 다른 장치들 간에 호환성 있는 통신을 제공한다. 이에 따라 기존 소형 저전력 장치를 위한 통신 연구 단체는 앞서 언급된 IETF 표준 호환성을 제공하는 통신 스택(stack)을 개발하여 제공한다. 본 장에서는 현재 국내외의 소형 저전력 통신 장치를 위한 사물 인터넷 프로토콜을 제공하는 운영체제(OS)의 기술 동향을 살펴본다.

3.1 Contiki OS

Contiki OS는 스웨덴의 Swedish Institute of Computer Science(SICS)에서 개발된 소형 저전력 장치를 위한 OS이다^[10]. Contiki는 2008년 Cisco 및 Atmel사와 협력하여 RAVEN mote에 대해 IPv6 Ready 인증을 받았으며, 현재는 RPL 프로토콜인 ContikiRPL, IPv6 routing, 그리고 저전력 MAC 프로토콜인 ContikiMAC 등을 기본으로 제공한다^[7].

Contiki OS는 C 언어 기반의 저전력 OS이며, 오픈소스 프로젝트로 BSD 라이선스로 무료로 사용 가능하다. 기타 소형 저전력 통신 OS와는 달리

Contiki OS는 초기부터 인터넷 연결을 목표로 시작되었으며, 이에 따라 빠르게 IETF 표준을 제안 및 구현하여 제공하였다. 특히 Cisco, Atmel과의 협력으로 소형 저전력 기기를 위한 OS 중 최초로 IPv6 Ready 인증을 받았으며, 이후에도 IETF 표준화에 적극적으로 참여함으로써 소형 저전력 장치의 사물 인터넷 연결에 빠르게 대응하고 있다. Contiki는 VMWare를 위한 이미지 형태인 Instant Contiki를 제공하며, Cooja 시뮬레이터를 통해 보다 직접적인 저전력 무선 통신 시뮬레이션을 제공한다. 특히 Cooja는 실제 장치에 포팅이 가능한 이미지를 이용하여 run-time 시뮬레이션을 제공하는데, TinyOS나 NanoQplus를 통해 구현된 이미지도 Contiki를 통해 구현된 이미지와 동일하게 시뮬레이션을 수행할 수 있어 많은 연구자들이 사용 중에 있다^[2].

3.2 TinyOS

TinyOS는 Smart Dust 프로젝트에서 시작된 무선 센서 네트워크 분야의 가장 오래된, 그리고 가장 많이 사용되는 운영체제이다^[15]. TinyOS 역시 Contiki와 같이 BSD 라이선스로 무료로 제공되는 오픈소스 프로젝트이다. TinyOS는 nesC라고 불리는 C 언어 기반 독자 언어를 채택하고 있

으며, 각 소프트웨어를 컴포넌트 형태로 구현하고 이를 nesC에서 정의된 인터페이스를 이용해 연결하는 형태로 구현된다. TinyOS는 기본적으로 Java JDK를 필요로 하는데, linux 운영체제에 설치되며 cygwin을 이용해 windows에서도 사용할 수 있다. 또한, TOSSIM이라고 불리는 Python 및 C++ 언어로 수행 가능한 시뮬레이터를 이용해, TinyOS로 개발된 코드를 시뮬레이션할 수 있다.

TinyOS는 저전력 무선 통신 기법, 저전력 라우팅 기법 등 각 계층의 다양한 프로토콜을 제공하고 있으며, TinyOS 2.0 이후 2010년에는 6LoWPAN을 지원하는 Blip 2.0과 storing-mode 기반 RPL 프로토콜을 지원하는 TinyRPL을 배포하였다⁶⁾. 현재 전 세계 대학에서 가장 많이 사용하고 있는 소형 저전력 기기를 위한 운영 체제로 Contiki OS와 함께 가장 빠리, 가장 안정된 사물 인터넷 프로토콜을 지원하고 있다.

3.3 NanoQplus

NanoQplus는 한국 ETRI에서 개발된 소형 운영체제로, 앞서 언급된 OS들과 달리 비상업적 목적으로 사용되는 버전과 상업용 버전이 나뉘어져 있으며, 학교의 연구와 같이 비상업적 목적을 위한 사용은 무료로 가능하다¹³⁾. NanoQplus는 2004년에 처음 배포되었으며, 이 후 업그레이드를 거치며 2010년부터 6LoWPAN 및 non-storing mode의 RPL 프로토콜을 공식 지원한다. 특히 2014년에는 Mango Etoi 플랫폼에서 IPv6 Ready 인증을 받았다.

NanoQplus는 Contiki OS와 같이 멀티 쓰레드(Multi-thread)를 지원하며, menuconfig를 통해 H/W, HAL 및 S/W component를 선택적으로 사용할 수 있다. Linux, Mac OS X, 그리고 cygwin

을 이용하여 Windows OS 환경에 설치 가능하며, VMWare 이미지 형태의 Ubuntu 기반 Instant NanoQplus 역시 지원한다. 최근에는 일부 플랫폼에 한해 ZigBeeSE 2.0을 위한 TCP, HTTP 및 TLS 보안 프로토콜을 지원하며, storing mode의 RPL 프로토콜도 지원 예정이다.

4. 사물 인터넷 적용 연구 동향

사물 인터넷은 서로 다른 유/무선 물리 계층의 통신 장치들을 IP 네트워크를 통해 서로 호환성을 제공함으로써 다양한 통신 장치들을 서로 연결하여 새로운 응용 및 시장을 개척하는데 그 목적이 있다. 본 장에서는 소형 저전력 통신 장치와 기존 통신 장치 사이의 인터넷 연결을 제공함으로써 새로운 서비스를 제공하는 상용 및 연구 기술 동향에 대해 살펴본다.

최근 tado 사는 Contiki OS의 개발자들이 참여한 Thingsquare사와 협력하여 스마트폰 기반 무선 난방 조절 장치를 개발하였다¹⁴⁾. tado사의 난방 조절 시스템은 독자 난방 장치가 있는 가구를 목적으로 하는데 무선 온도 센서, 외벽 온도계 및 보일러와 연결되는 Box, 그리고 Box 및 온도 센서와 저전력 무선 통신을 수행하고 맥 내 라우터와 연동되어 스마트폰과 통신하는 Gateway로 구성된다. 맥 내 벽에 온도계가 포함된 제어 장치가 있는 경우 해당 장치를 Box로 교체함으로써 간단히 설치할 수 있으며, 제어 장치가 없는 경우 보일러에 Box를 연결하고 거실에 무선 온도 센서를 장치함으로써 설치할 수 있다. 마지막으로 스마트폰으로 이를 제어하기 위해 Gateway를 맥 내 라우터에 연결하면 (그림 7)과 같이 스마트폰을 이용하여 맥 내 무선 난방 조절이 가능할 뿐만 아니라, 생활 패턴, 집, 그리고 날씨에 적응적인 난방 제어 서비스를 제공함



(그림 7) tado 사의 사물 인터넷 기반 무선 난방 조절 서비스^[14]

으로써 편리한 난방 조절 및 맥 내 난방비 절약이 가능하다.

LIFX 사에서는 최근 ZigBee 기반 무선 조명 조절 장치인 필립스의 Hue와 유사한 LIFX 전구를 개발하였다^[12]. 기존 Hue의 경우, ZigBee 통신 기반의 전구를 제어하기 위해 ZigBee Gateway를 별도로 설치해야 한다. 하지만, LIFX는 전구를 스마트폰으로 제어하기 위한 WiFi 뿐만 아니라, 전구들 간에 통신 및 펌웨어 업데이트 등을 위한 저전력 무선 통신 장치가 내장되어 있어, 추가적인 장치 없이 전구 단독으로 설치 및 스마트폰을 이용한 제어가 가능하다. 또한, 여러 개의 전구가 넓은 지역에 설치되더라도 전구가 내장 WiFi를 이용해 IPv4/IPv6 gateway 역할을 수행하기 때문에 저전력 무선 통신을 이용한 제어가 가능하다.

최근 IP기반 Smart Object에 대한 단체인 IPSO Alliance에서 주최한 IPSO Challenge 2013에서는 전선에서 발생하는 전자기파를 이용하여

전류를 생성, 이를 이용하여 내장된 소형 저전력 장치가 전류량을 인터넷으로 보고하는 Redwire 사의 에너지 하베스팅 기반 무선 인터넷 전류 측정기가 우승을 차지했다^[11]. 해당 장치는 전류 측정 장치에 배터리 장착 및 교체 없이 간단히 설치할 수 있으며 반 영구적인 사용이 가능하다.

UC Berkeley에서는 건물 에너지 서비스에서 IPv6 기반 환경정보 습득 및 제어를 위한 simple Monitoring and Actuation Profile(sMAP)에 대한 연구를 진행하였다^[8]. sMAP은 기존의 건물에서 물리적 공간에 따라 복잡하게 얽혀있는 건물 내 센서 및 액추에이터의 정보를, RESTful 웹서비스에 JSON과 같은 스키마 기반 데이터 포맷을 활용하여 보다 쉽게 접근할 수 있게 도와주며, 기존 건물 내 통신 규격인 BACNet과의 호환성을 제공한다. sMAP은 스마트그리드 응용에서의 미터기, 센서 뿐만 아니라, 건물 내 전등 제어 및 공조 서비스에도 활용 가능하며, 실제 UC Berkeley 건물에 적용되어 그 성능을 확인하였다.



(그림 8) Redwire 사의 에너지 하베스팅 무선 인터넷 전류 측정기^[11]

이와 같이 최근에는 소형 저전력 장치들의 인터넷 연결을 이용한 많은 아이디어 제품이 개발되고 있으며 향후에는 위에서 소개된 것과 같이 간단히 사용 가능한 가정용뿐만 아니라 산업용, 그리고 공공 기술에도 적극 활용될 전망이다.

5. 결론

스마트폰을 비롯한 스마트 장치의 발달과 더불어 모든 정보를 인터넷으로 호환하고 이를 기반으로 새로운 서비스를 창조하는 사물 인터넷 기술은 최근 활발히 연구되고 있으며, 곧 우리 곁으로 찾아올 것으로 예상된다. 이미 많은 연구 기관과 기업에서 사물 인터넷을 이용한 서비스를 개발 및 제공하고 있으며, 사물 인터넷에 대한 수요 및 서비스는 시간이 지남에 따라 날로 늘어날 것이다. 하지만, 현재의 사물 인터넷 기술은 기존 인터넷과의 단순한 연결성을 이용한 서비스, 즉 스마트폰을 연동한 정보 습득 및 기기 제어나 스마트 기기의 정보를 인터넷 서버로 수집하여 보다 많은 정보를 제공하는 정도의 범위를 넘지 못하고 있다. 따라서 앞으로의 사물 인터넷 기술은 단순한 정보의 인터넷 연결을 벗어나, 사물이 스스로 필요한 정보를 수집하여 사람 및 다른 사물에게 서비스를 직접 제공하고, 이렇게 모인 정보를 빅데이터(Big Data)로 가공하여 새로운 서비스를 창출하는 방향으로 발전할 것으로 전망된다.

사물 인터넷의 확장을 위해서는 보다 쉽고 저렴하게 정보를 습득 및 가공하기 위한 소형 저전력 장치가 필수적이며, 본 고에서는 이에 따라 소형 저전력 장치를 위한 사물 인터넷 기술의 현재 주소 및 서비스 동향에 대해 살펴보았다. 사물 인터넷 기술의 표준 제정 및 이를 지원하는

기술의 확산과 더불어 이미 국내외에서 소형 저전력 장치 기반 사물 인터넷 서비스가 시작되고 있으며, 앞으로는 더욱 다양한 서비스가 빠른 시일 내에 제공될 것이다. 또한 소형 저전력 장치를 위한 새로운 무선 통신 기술, 보다 효율적인 인터넷 접속 및 서비스 기술, 그리고 대규모 소형 저전력 장치로부터의 정보를 분류하고 이를 기반으로 새로운 정보를 재해석하는 기술에 대한 연구가 앞으로 집중될 것이라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원 주요사업인 ‘실시간 모니터링 기반의 산사태재해 조기탐지 융합 시스템 개발’과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 석왕현, 송영근, 고준수. 통신환경 변화에 따른 M2M 산업 생태계 및 파급효과 분석. IT 이슈리포트 2013-7, ETRI. 2013. 06.
- [2] F. Osterlind et al., "Cross-Level Sensor Network Simulation with COOJA," Proceedings 2006 31st IEEE Conference on Local Computer Networks, Nov. 2006.
- [3] IETF, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks," RFC 4944, Sep. 2007.
- [4] IETF, "RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks," RFC 6550, Mar. 2012.
- [5] J. Ko et al., "RPL Routing Pathology in a Network With a Mix of Nodes Operating in Storing and Non-Storing Modes," IETF RoLL WG, Internet-Draft, ver.04, Feb. 2014.
- [6] J. Ko et al., "Connecting Low-Power and Lossy Networks to the Internet," IEEE Communications Magazine, Apr. 2011.
- [7] N. Tsiftes et al., "Low-power wireless IPv6

routing with ContikiRPL,” ACM/IEEE IPSN'10, Apr. 2010.

- [8] S. Dawson-Haggerty et al., “sMAP – a Simple Measurement and Actuation Profile for Physical Information,” ACM SenSys'10, Nov. 2010.
- [9] Z. Shelby et al., “Constrained Application Protocol (CoAP),” IETF CoRE WG, Internet-Draft, ver.18, Jun. 2013.
- [10] <http://www.contiki-os.org/>
- [11] <http://www.ipsn-alliance.org/>
- [12] <http://www.lifx.co/>
- [13] <https://sites.google.com/site/nanoqplusos/>
- [14] <http://www.tado.com/de-en/>
- [15] <http://www.tinyos.net/>



최 병 철

이메일 : bcchoi@etri.re.kr

- 1987년 한양대학교 전자공학과(학사)
- 1997년 한남대학교 전자공학과(석사)
- 2004년 부산대학교 컴퓨터공학과(박사)
- 1993년~현재 한국전자통신연구원 사물통신연구실 실장(책임연구원)
- 관심분야: 무선 통신, 센서 네트워크, 사물인터넷, 고속통신망

저 자 약 력



박 종 준

이메일 : juny@etri.re.kr

- 2004년 포항공과대학교 전자전기공학과(학사)
- 2006년 포항공과대학교 전자전기공학과(석사)
- 2006년~현재 한국전자통신연구원 사물통신연구실 선임연구원
- 관심분야: 무선 통신, 센서 네트워크, 사물인터넷, 디지털 신호처리