



사물인터넷을 위한 네트워킹 기술

모든 사물이 상호 연결되어 통신이 가능할까?

최영환, 최윤철, 유주상*

한국전자통신연구원, 동의대학교*

I. 서론

사물인터넷(Internet of Things; IoT)은 모든 사물을 통신기술을 통해 상호 연결함에 따라 다양한 정보를 공유하여 새로운 차세대 서비스를 구현할 수 있는 기반 통신환경을 의미한다. 여기서 사물은 적어도 통신 및 컴퓨팅의 두 가지 기술이 탑재 가능한 모든 종류의 물건을 의미할 수 있다. 예를 들어, TV, 냉장고와 같은 일반 가전기기는 물론이고, 전등, 필기구, 컵 등 생활용품들도 통신기능을 통해 처리 정보를 송수신할 수 있다면 사물인터넷을 구성하는 단말 장치로서 동작할 수 있다. 이런 사물들을 크게 두 가지로 분류한다고 할 때, 자원제한적 사물과 그렇지 않은 사물로 구분할 수 있는데, 일반적으로 크기가 작은 자원 제약적 사물들은 물리적 한계로 인해 탑재한 기능들마저 제약적일 수밖에 없다. 또한, 초기 TCP/IP기반의 인터넷 통신 기술은 자원 제약적 사물들의 특징을 고려하여 설계되지 않았었다. 하지만, 이러한 고려사항들은 사물인터넷 통신 환경에서 필수적인 요소 중 하나로 인식됨에 따라 활발히 연구들이 진행되고 있다.

본고에서는 이러한 사물인터넷 환경에서 자원 제약적인 저전력 네트워킹 기기들간의 인터넷 통신 기술에 대해 알아본다. 본고의 구성으로 우선 관련 연구 동향을 통해 사물인터넷을 위한 어떤 인터넷 기술들이 연구 진행되어 오고 있는 지 살펴보고, 그 중 자원 제약적 사물인터넷을 위한 저전력 네트워킹 핵심기술요소에 대해 알아 보도록 한다.



사물인터넷을 구성하는 통신 기기는 생활가전 및 휴대폰을 비롯하여 전등, 필기구, 컵 등 생활용품까지 통신 및 컴퓨팅 기능만 갖추면 모두 가능하다.

12

II. 본론

1. 관련 연구 동향

가. 저전력 네트워킹의 시작 및 관련 기술

저전력 네트워킹 기술 분야 연구의 시작은 무선 센서 네트워킹 연구부터라고 할 수 있다. 초기 무선 센서 네트워크는 저비용으로 제작되어 다량 살포가 가능한 형태 그리고 회수 및 재활용을 고려하지 않은 형태로 설계된 센서 노드들로 구성된다 그렇기 때문에, 센서노드의 물리계층 통신기술인 IEEE 802.15.4 [1] 위에 복잡하고 무거운 TCP/IP 기반 인터넷 프로토콜들을 탑재한다는 것은 적절한 선택은 아니었다. 그 대신, Zigbee[2]와 같은 경량화 통신 프로토콜들이 사용되기 시작했다. 하지만, 현재 우리가 사용하는 인터넷을 기반으로 자원 제약적 사물들이 포함된 사물인터넷 내의 모든 사물들을 연결하기 위해서는 그들을 위한TCP/IP 기반의 인터넷 프로토콜 기술들(예를 들어, IP주소 등)이 필요한 것은 자명했다. 이와 같은 과정에서 시작된 것이 저전력 무선 센서 네트워크의 종류인 IEEE 802.15.4 기반 IPv6 패킷 전송을 위한 네트워킹 기술이 바로 IETF 6LoWPAN[3][4][5]기술이 대표적이다. <그림 1>은 이와 관련하여 저전력 네트워킹과 관



그림1. IETF에서의 사물인터넷 기술 연구 동향

련된 표준기술 동향이다. 사실 <그림 1>과 같이 사물인터넷을 위한 연구와 표준 기술 개발은 다양한 분야에서 진행되었다. 사실 표준화 기구인 IETF에서 사물인터넷에 대한 관심은 3차에 걸친 IoT Bar BoF회의 및 IAB 워크숍을 개최하면서 시작되었다. 그 이전에 이미 연구 및 표준 기술 개발이 시작되어 진행 중이던 6LoWPAN 기술이 사물인터넷을 직접적으로 겨냥했었다고 할 수는 없다. 그 뿐만 아니라, 6LoWPAN기반 센서 네트워크 응용 기술 및 서비스들도 제한적이었기 때문에 산업화 및 시장의 호응을 받지 못했었다. 하지만, 6LoWPAN표준 기술들은 완성도는 높았기에 추후 진행된 6Lo 기술 즉, IEEE 802.15.4와 비슷한 저전력 네트워킹 기술들(예를 들어, Bluetooth Low Energy (BLE), ITU-T G.9959, Master Slave/Token Passing (MS/TP), DECT Ultra Low Energy, Near Field Communications (NFC), Power Line Communication (PLC) 등)을 기반으로 IPv6 패킷 통신을 위한 표준 기술들의 모태가 된다.

나. 그 밖의 사물인터넷 표준 기술

<그림 1>과 같이, 사물인터넷과 관련된 표준기술들은 6LoWPAN 및 6Lo 기술 이외에도 Core, Roll, Lwig, 6tisch, Dice, Ace 등 다양한 분야의 표준기술 연구가 진행 중에 있다.

자원 제약적인 사물인터넷을 위한 네트워크 계층 전송 기술 연구가 6LoWPAN 및 6Lo 기술을 통해서 이루어져왔다면, 사물인터넷 응용 계층 전송에 대한 연구 개발은 Core WG에서 진행된 기술들이다. Core WG에서 대표적으로 개발된 프로토콜이 CoAP [6]이다. CoAP은 REST (Representational State Transfer) 방식[7]의 경량화된 응용 계층 전송 프로토콜이다. 물론 HTTP 역시 REST 방식의 응용계층 전송 프로토콜이지만, 텍스트 기반의 가변 길이의 메시지 형식과 복잡한 처리방식으로 인해 비효율적이었다. 즉, 경량화가 필수인 저전력 네트워킹을 위해서 적합하다고 할 수 없기에 경량화된 방식의 메시지 형식을 갖춘 CoAP프로토콜이 개발되었다. 이외 에도 Core WG에서는 RD와 같은 REST 환경에서 필요한 다양한 요소기술들은 개발하고 있으며, TCP/IP 인터넷이 아닌 타 네트워킹 기술 위에 CoAP을 탑재할 경우, TCP/IP네트워크 계층에서 제공되는 기본 기능들 (예를 들어, 신뢰성 전송 및 그룹전송 등)을 사용할 수 없다는 문제점 때문에, CoAP 프로토콜 확장 기술들도 추가적으로 개발하고 있다.

제원 제약적 사물인터넷 환경에서 저전력 네트워킹을 위한 네트워크 계층 라우팅 기술로써 Roll WG에서 개발된 RPL[8]이 있다. 본 라우팅 기술은 대표적 사물인터넷 응용사례들 중 산업 자동화 네트워크, 홈자동화 네트워크, 빌딩자동화 네트워크, 농업자동화 네트워크 환경에 적합



우리가 사용하는 인터넷 표준을 개발하는 사실표준화 기구 IETF에서는 6lowpan을 시작으로 6lo, roll, lwig, 6tisch, core, ace 등 여러분야에서 사물인터넷 세부기술에 대한 표준화를 개발하고 있다.

Applications					Application Layer
CoAP, DICE, ACE,					
UDP, TCP					Transport Layer
IPv4, IPv6					Network Layer
		6LoWPAN	6Lo		Adaptation Layer
MAC					Link Layer
Radio Transmission					Physical Layer
Wi-Fi	Ethernet	IEEE 802.15.4	BLE	NFC	

그림 2. 자원 제약적 사물인터넷 구성 예제

하도록 요구사항을 분석하여 설계되었다.

그 밖에도, 보안과 관련하여 Ace WG에서는 자원 제약적인 사물인터넷 환경에서의 인증 아키텍처 및 유즈케이스 등 보안 기술들을 개발하고 있다. 또한, Lwig WG에서는 자원 제약적 사물인터넷을 위한 프로토콜 경량화를 위한 기술을 연구하고 있으며, IEEE 802.15.4 통신 모드 중에서 CSMA/CD 모드가 아닌 시분할 채널 호핑 모드(Time-slotted Channel Hopping; TSCH) 방식의 네트워크에서 IPv6 패킷 전송을 위한 기술들을 6tisch WG에서 별도로 개발 중에 있다. 다음으로 저전력 네트워킹 핵심 기술인 6LoWPAN 및 6Lo 기술에 대해 알아본다.

14 2. 인터넷 기반 저전력 네트워킹 기술 개요

가. 자원 제약적 사물인터넷의 구성

1장에서는 사물인터넷의 사물들을 크게 두 가지로 구분하였다. 자원 제약적인 사물들과 그렇지 않은 사물들이다. 본 고에서는 자원 제약적 사물들이 포함되어 통신 기능을 이용해 상호 정보를 주고 받는 네트워크를 “자원 제약적 사물인터넷”이라고 칭한다.

〈그림 2〉는 자원 제약적 사물인터넷이 어떻게 구성 가능할 지에 대한 네트워크 예제들 중 일부를 보여준다. 구성 요소들은 자원 제약적인 통신 단말 장치들이 메쉬 형태로 상호 연결되어 있으며, 이들과 외부 인터넷을 연결하는 게이트웨이가 존재한다. 만약, 두 개의 서로 다른 저전력 네트워크 단말들(예를 들어, NFC와 BLE)을 연결하는 게이트웨이가 존재할 수도 있다. 또한, 전력 절감을 위해 비활성 상태로 전환된 단말 장치들을 대신해서 프락시(proxy) 서버와 같은 통신 단말장치들도 필요할 수 있다. 몇 가지 자원 제약적 사물인터넷의 특성을 요약하면 아래와 같다.

나. 자원 제약적 사물인터넷 특징

전력공급: 소형의 제한적 배터리를 통해 전원이 공급되기 때문에 동작에 있어 효율적 에너지 소비가 필수적이다. 이러한 이유로 인해 저전력 네트워킹 장치들은 소비 전력절감을 위해 활성(active) 및 비활성(inactive) 모드를 가진다.

저전력 네트워크 인터페이스: 제한적 전원공급으로 인해 통신 인터페이스 역시 저전력 모듈(예를 들어, IEEE 802.15.4, BLE, ITU-T G.9959, MS/TP, DECT-ULE, NFC 등)을 사용한다. 저전력 네트워크 인터페이스들은 전송 거리, 에너지 소비량 등 물리적 특성이 각각의 다르기 때문에 이 기종 네트워크 인터페이스들을 가진 네트워크를 구성할 경우, 이들 특성이 고려되어야 한다.

데이터전송단위 및 통신속도: 저전력 네트워크 인터페이스 중IEEE 802.15.4의 경우에는 물리



IEEE 60 WG에서 다양한 저전력 유무선 통신기술을 이용하여 인터넷을 할 수 있는 기술을 개발하고 있다.

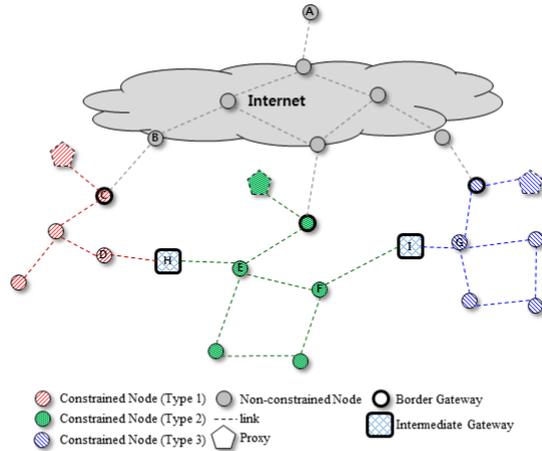


그림 3. 6LoWPAN 및 6Lo 기술 범위

계층 헤더를 제외하고 최대 127바이트의 데이터 전송 단위(PDU)를 가지며, 네트워크 인터페이스 특성에 따라 통신속도도 비교적 느릴 수 있다.

처리능력: 자원 제한적 사물들은 응용에 따라 소형 혹은 저가형 특징을 가지기 때문에 느린 통신속도뿐만 아니라 프로세서의 처리능력 및 메모리의 저장능력까지 제한적일 수 있다.

이러한 특징들 때문에, 기존 TCP/IP 기반의 인터넷 기술을 그대로 운용한다는 것은 부적합한 선택일 수 밖에 없다. 예를 들어, 주소 생성 및 할당을 위해 IEEE 802.3에서는 EUI-64 형식을 준용하여 IPv6의 IID(Interface Identifier)를 생성한다. 하지만, G.9959, MS/TP, NFC 등의 저전력 네트워킹 전송 기술은 EUI-64 형식을 따라 IID를 생성할 수 없다. 또한, 비교적 느린 전송속도와 작은 PDU를 고려했을 때, IPv6 패킷의 1280바이트를 송수신 한다는 것을 불가능 하다.

그래서, <그림 3>과 같이 네트워크 계층과 PHY/MAC 계층 간의 프로토콜 연동을 위한 적응계층(adaptation layer)가 필요하다. 기존 IEEE 802.15.4 네트워크 기반 적응계층 프로토콜이 바로 6LoWPAN [4]기술이며, 이를 바탕으로 다양한 저전력 전송 모듈 즉, BLE, ITU-T G.9959, MS/TP, DECT-ULE, NFC 등 각각 네트워크 특성에 맞도록 보완된 기술이 6Lo 이다. 3장에서 6LoWPAN 및 6Lo 세부기술에 대해 알아본다.

3. 적응계층 핵심 세부 기술 요소 및 고려 사항

25 적응계층에서 필수적으로 지원해야 할 세부기능으로써, 패킷 단편화 및 조립, 헤더압축, 주소 생성 및 설정, 네트워크 관리 등이 있다.

적응계층에서 필수적으로 지원해야 할 세부기능으로써, 패킷 단편화 및 조립, 헤더압축, 주소 생성 및 설정, 네트워크 관리 등이 있으며, 그 외에도 상위계층 및 다중 홉 라우팅에 대한 고려사항도 필요하다.

가. 패킷 단편화 및 조립

IEEE 802.15.4 네트워크 경우, 물리계층에서 지원하는 최대전송단위(MTU)는 127바이트이며, MAC헤더를 제외하고 링크계층에서 가용할 수 있는 최대 전송 크기는 102바이트인데 반해, 상위 네트워크 계층에서 처리하는 IPv6 데이터그램은 기본 1280바이트이다. 적응계층을 통해서 IPv6 데이터그램은 MAC 전송 단위 크기에 따라 잘라 여러 개의 단편화된 패킷으로 전송되어야 하고, 역으로 단편화된 패킷들을 전송 받은 적응계층은 그들을 재조립하여 상위 네트워크 계층으로 전달해야 한다.

하지만, 6Lo 기술 중에서 BLE 경우에는 링크계층에서 단편화 및 재조립 기능을 가지기 때문에 적응계층에서 별도 본 기능이 필요 없으며, NFC의 경우에는 기본적으로 링크계층 MTU가 128

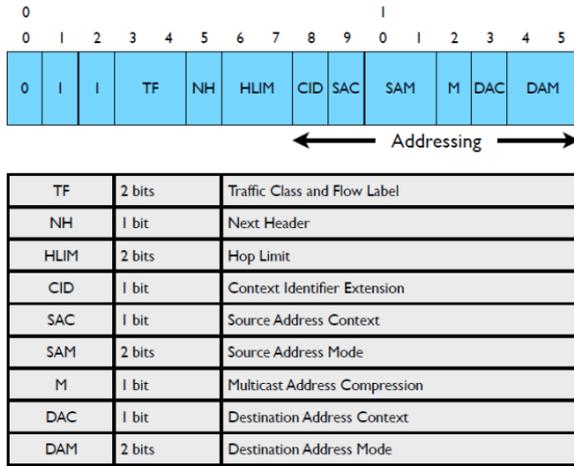


그림 4. 기본 헤더 압축 형식 [3]

이지만, 링크 연결 당시 옵션 헤더를 통해 2176바이트까지 확장 가능하다. 이와 같이, 가변 MTU를 가진 경우에는 단편화 및 재조립 기능은 요구되지 않는다.

나. 헤더 압축

IEEE 802.15.4 네트워크에서의 헤더압축 기법은 RFC 4944[3]에서 정의되었다. 그러나, 같은 링크 상에서는 헤더압축 효율이 낮은 문제점을 가지고 있었기에 기존 RFC 4944에서 제안된 헤더압축 기능을 업데이트하기 위해 RFC 6282[4]에서 헤더 압축을 위한 확장 기법을 새로 정의되었다. 이는 IPv6 헤더 압축뿐 아니라 Traffic Class, Flow Label, Hop Limit 등 압축대상들을 추가하였으며, 멀티캐스트와 지정되지 않은 주소, 문맥 기반 주소 압축 등을 통해 헤더 압축 효율을 높였다. 또한, UDP와 IPv6 확장 헤더 압축도 지원한다. <그림 4>는 헤더 압축 형식 및 각 항목에 세부 설명이다.

다양한 저전력 네트워크 전송 모듈을 기반으로 하는 6Lo 기술에서는 RFC 6282 헤더 압축 기술을 네트워크 특성에 맞추어 전부 혹은 일부를 그대로 준용한다.

다. 주소 생성 및 설정

IPv4 주소고갈 및 비효율적인 활용 및 관리 등 문제점을 보완하기 위해 개발된 IPv6주소 특징으로 128비트의 확장된 주소영역, 순차적 할당에 따른 효율적 관리, IPsec과 같은 보안기술의 자체 지원, 자동설정 등이 있다.

이 기술들 중에서 적응계층에서 고려해야 할 사항이 주소 생성 및 설정 방법이다. IPv6 주소는 크게 프리픽스(prefix)와 인터페이스 식별자(Interface Identifier; IID)의 두 영역으로 구분된다. 프리픽스 주소는 망을 구분하기 위해 사용되는 영역이며, IID는 로컬 네트워크에서 통신장치

인터넷 기반 사물인터넷 환경에서 저전력 네트워킹을 위한 식별자로 IPv6 주소를 권장하고 있으며, 이를 위한 주소생성 및 관리 방법을 별도로 제시하고 있다.

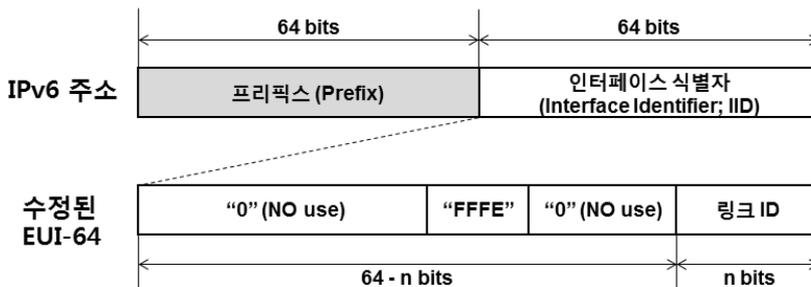


그림 5. 수정된 EUI-64 IID 주소 형식

들간 식별을 위해 사용된다. 일반적으로 IEEE 802.15.4 및 BLE와 같은 IEEE 802계열의 경우에는 EUI-64 형식을 따라 6바이트 링크주소를 활용하여 IPv6 IID를 생성한다. 하지만, ITU-T G.9959, MS/TP, DECT-ULE, NFC 네트워크 경우에는 <그림 5>와 같은 수정된 EUI-64 형식을 따르고 있다. 이와 같이 생성된 IID는 글로벌 프리픽스 주소와 함께 유일한 128비트의 공용 IPv6 주소를 생성하거나 링크로컬 자동 주소설정(Stateless Address Auto-Configuration; SLAAC)을 통해 FE80::/64 프리픽스를 붙여 128비트 링크주소를 생성한다.

하지만, NFC 및 MS/TP 같은 경우 불과 6~8비트 링크계층의 ID를 사용한다. 그렇기 때문에 로컬 망을 2⁶ 혹은 2⁸개의 단말까지만 주소를 할당할 수 밖에 없어 망 확장성 문제점을 가지고 있다. 또한, 주소를 오래 사용할수록 주소 중복성과 같은 문제에 노출되는 등 불안정적인 특징을 가지고 있어, 향후 개선될 필요가 있다.

사실, 이러한 문제점들은 비단 6Lo 뿐만 아니라 IEEE 802 계열 네트워크와 같이 링크주소를 활용하여 IID를 생성하는 모든 IPv6 네트워크에서 위치 추적, 특정 주소 공격 등 보안 허점으로 재 조명 받고 있으며 이 역시 개선이 필요한 상태이다.

라. 네트워크 관리

자원 제약적 사물인터넷의 특징 중에서 제한된 공급 전력은 특히 네트워크 관리에 심각한 영향을 줄 수 있는 요소이다. 6LoWPAN 기술 중에는 기존의 IPv6 이웃노드 탐색 기법을 최적화하여 저전력 무선 네트워킹을 위해 사용하고 있다. 전형적인 유선 IPv6 망에서 라우터에 탑재된 하나의 네트워크 인터페이스로 전달된 패킷은 또 다른 인터페이스로 포워딩되어 나가는 형태를 가진다. 하지만, 6LoWPAN 혹은 6Lo 네트워크를 구성하는 대부분의 단일 무선 네트워크 인터페이스를 가진 단말 장치들은 유선 라우터와는 달리 수신한 네트워크 인터페이스로 다시 송신한다. 이와 같은 경우, 이웃 노드를 탐색을 위해 유선 IPv6 네트워크에서는 멀티캐스팅 방식을 사용하는 것이 유리하지만, 무선 네트워크에서는 에너지 비효율성으로 인해 브로드캐스팅 방식을 사용하는 것이 유리하다[5].

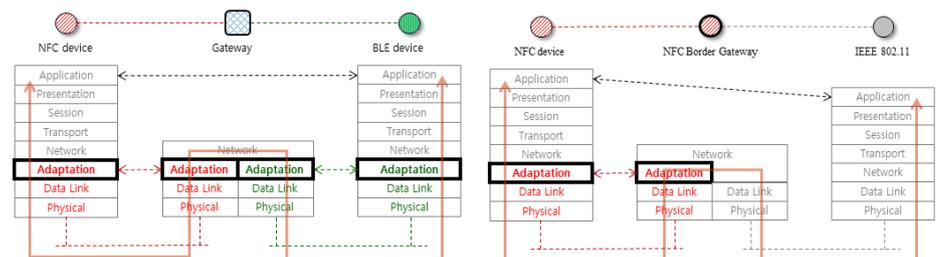
마. 라우팅

라우팅 방식을 네트워크 토폴로지의 형태 및 특징에 따라서 다중 홉 메쉬 언더 혹은 네트워크 계층에서의 라우팅을 사용할 지에 대한 고려가 필요하다. 6Lo 기술 기반의 저전력 네트워킹에서는 이 기종 네트워크 인터페이스를 가진 두 단말장치 간의 통신이 요구된다. 이 때, <그림 6>의 (a)와 같이, 중간에 두 단말들을 연결하기 위한 게이트웨이가 필요하며, 이를 통해 라우팅이 이루어진다. 이와 같은 게이트웨이는 서로 다른 두 단말장치의 네트워크 인터페이스를 모두 탑재해야 하며, 각 인터페이스에 대응하는 적응계층 프로토콜을 별도로 운용해야 한다.

그뿐만 아니라, <그림 6>의 (b)와 같이, 저전력 네트워크 인터페이스를 가진 단말과 저전력이 아닌 일반 네트워크 인터페이스를 가진 단말 간의 통신 역시 요구된다. 이와 같은 경우에도 두



많은 저전력 통신 기기들이 네트워크를 구성할 경우 중요한 인터넷 기술 중 네트워크 관리 및 라우팅 또한 저전력 통신 기기들을 위한 에너지 효율적 특성을 고려해야 한다.



(a) 서로 다른 두 저전력 단말 장치

(b) 저전력 단말장치와 일반 단말장치

그림 6. 이 기종 단말장치 간 라우팅 흐름 예시

단말을 연결하는 게이트웨이를 통해 라우팅이 이루어지는데, 게이트웨이는 저전력 네트워크 인터페이스를 탑재한 쪽에만 적응계층 프로토콜을 운용해야 한다.

바. 그 밖의 기능 및 고려사항

앞 서 알아본 적응 계층에서 요구되는 기능들 이외에도 네트워크 구성에 있어 mesh 형태의 토폴로지를 형성하기도 하지만, NFC의 경우에는 응용서비스에 따라 단일 단말장치로부터 인터넷에 연결되는 형태의 네트워크 구성이 가능하기 때문에 상위 응용 프로토콜 운용 혹은 이웃노드 탐색 최적화와 관련해서 보다 많은 고려사항이 발생할 수도 있다.

III. 결론

본고에서는 저전력 네트워킹 관련 기술 동향을 통해 자원 제약적인 사물인터넷 기술 이슈의 흐름을 살펴보고, 그에 부합되는 네트워크 구성요소 및 특징들이 저전력 네트워킹의 기술적 세부 요소에 미치는 영향들을 알아보았다. 많은 사람들이 현재 사용하고 있는 인터넷을 기반으로 사물인터넷 응용 기술 혹은 서비스를 구축한다고 하면, 네트워크 기반 시설 혹은 네트워킹 관련 기술들은 더 이상 할 것은 없이 그대로 사용하면 된다고 말하기도 한다. 하지만, 현재 본고에서 강조하는 바와 같이, 자원 제약적 사물인터넷을 위한 저전력 네트워킹 기술은 우선 개발되어야 할 필수 요소 중 하나이다. 또한, 자원 제약적 사물인터넷을 위한 인터넷 기반 저전력 네트워킹 기술은 향후 사물인터넷 첨단 서비스를 이끄는 고 부가가치를 확보할 수 있는 기반 기술로써 활용될 것으로 기대된다.



인터넷 기반 저전력 네트워킹 기술은 향후 사물인터넷 환경에서 고 부가가치를 확보할 수 있는 첨단 서비스 개발 및 구현을 위한 기반 기술로 자리잡을 것이다.

Acknowledgment

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [R0166-15-1008, 인터넷 기반 IoT 연동 기술 표준개발]

참고 문헌

- [1] J. Gilb, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," IEEE Standard, September, 5, 2011.
- [2] G. Legg, ZigBee: Wireless Technology for Low-Power Sensor Networks, Retrieved June, 5, 2004, from <http://www.eetimes.com>.
- [3] G. Montenegro, N. Kushalnagar, J. Hui, and D. Culler, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks," IETF RFC 4944, September 2007.
- [4] J. Hui and P. Thubert, "Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks," IETF RFC 6282, September 2011.
- [5] Z. Shelby, S. Chakrabarti, E. Nordmark, and C. Bormann, "Neighbor Discovery Optimization for IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks

- (6LoWPANs),”IETF RFC 6775, November 2012.
- [6] Z. Shelby, K. Hartke, and C. Bormann, “The Constrained Application Protocol (CoAP)”, IETF RFC 7252, June 2014.
- [7] Z. Shelby, “Constrained RESTful Environments (CoRE) Link Format”, IETF RFC 6690, August 2012.
- [8] J. Hui and JP. Vasseur, “The Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL) Option for Carrying RPL Information in Data-Plane Datagrams”, IETF RFC 6553, March 2012.