

LPWA 기반 IoT 전용 네트워크 기술동향

LPWA IoT Network Technology Trends

박태준 (T.-J. Park) IoT 연구본부 책임연구원
 이계선 (K.S. Lee) IoT 연구본부 선임연구원
 정운철 (W.-C. Jeong) IoT 연구본부 책임연구원
 최병철 (B.-C. Choi) IoT 연구본부 책임연구원
 방효찬 (H.-C. Bang) IoT 연구본부 책임연구원

* 본 연구는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R7117-17-0197, 저전력광역(LPWA) IoT 네트워크 핵심기술 개발).

넓은 커버리지를 요구하는 응용이 늘면서 서비스 지연에 민감하지 않은 소량의 데이터를 전달하기에 적합한 LPWA 네트워크 기술이 주목받고 있다. 본고는 LPWA 네트워크 기술을 시장과 밀접한 관련을 갖고있는 무선 대역으로 구분하여, 비면허 대역 기술과 면허 대역 기술로 나누어 최근 개발 및 확산 동향을 살펴본다. 특히, 비면허 대역의 대표적인 기술인 Sigfox, LoRaWAN, PRMA 등의 기술을 다루었으며, 면허 대역의 기술로는 3GPP의 LTE 기술을 중심으로 살펴본다. 또한, LPWA 네트워크 기술과 관련하여 최근 진행 중인 IETF의 표준화 동향을 정리한다.

초연결 지능 인프라 특집

- I. 서론
- II. 비면허대역 LPWA 기술동향
- III. 면허대역 LPWA 기술동향
- IV. LPWA 표준화 동향
- V. 결론



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

I. 서론

전기, 가스, 수도 등의 검침과 같이 이동성 서비스의 품질이 중요하지 않고, 지연에 민감하지 않은 소량의 데이터를 전달하기에 적합한 저전력-광역 IoT네트워크의 필요성이 확대되고 있다. 사물 간 통신 대상의 서비스는, 기존 이동통신망 서비스의 주요 대상과는 다르게, 단말의 숫자가 기존의 서비스에 비해 훨씬 많음에도 불구하고, 사용자 데이터의 양은 시그널링을 위한 데이터의 양과 비교될 정도로 적다. 또한, 이 단말들은 전원이 공급되지 않는 곳에 설치되어, 극히 제한된 배터리 자원만으로 장시간 또는 기기의 수명이 다할 때까지 안정적으로 동작해야 하는 경우도 있다. 따라서 WiFi나 LTE와 같은 고속/대용량의 통신기술보다는 배터리 소모 특성에 최적화되어 보다 넓은 영역에 대해 서비스가 가능한 LPWA 네트워크 기술이 주목받고 있다.

초기 LPWA(Low Power Wide Area) 기술은 Sigfox, LoRaWAN과 같이 비면허대역의 독자 기술로 시작하여, 면허대역의 MTC디바이스를 위한 LTE-M이 제공되고, 이어서 2016년 6월에 LTE를 LPWA 응용에 최적화한 NB-IoT 규격을 통해 면허대역에서도 LPWA 네트워크 서비스를 제공할 수 있게 되었다.

본고의 구성은 다음과 같다. II장에서는 비면허대역의 LPWA네트워크 기술동향, III장에서는 면허대역의 LPWA기술, IV장에서는 LPWA와 관련하여 최근 진행 중인 표준화 동향을 정리한다. 그리고 V장에서 마무리

를 한다.

II. 비면허대역 LPWA 기술동향

1. Sigfox

가. 개요

Sigfox의 ‘one-contract one-network’ 정책에 따라 단말은 모든 게이트웨이를 통한 접속이 가능하며 이동성 지원을 위한 로밍이 필요 없다. 처음 유럽에서 시작된 유럽기준(ETSI)의 기술을 미국기준(FCC)에 적용하여, 미국(FCC)과 유럽(ETSI)에서 서로 다른 대역폭과 데이터 전송률 특성을 나타낸다.

Sigfox의 무선 인터페이스는 단말의 저전력 특성을 위한 상향 통신에 최적화되어, 단말은 송신할 데이터가 있을 때까지 무제한 sleep이 가능하며, 필요한 경우에만 상향 데이터를 발생한다. 하향 통신은 상향통신 이후에만 가능하다. 이때의 상하향 프레임 포맷은 (그림 1)과 같으며, payload의 크기는 상향이 12 바이트, 하향이 8 바이트이다. 또한, 비인가대역 규제에 의한 비대칭 채널 특성 때문에 하루에 사용할 수 있는 최대의 상향과 하향 메시지의 수는 각각 140개와 4개로 제한된다.

현재 프랑스, 스페인, 포르투갈, 네덜란드, 룩셈부르크, 아일랜드에 Sigfox로 공중 LPWA 네트워크가 전면 설치되었고, 일본, 독일 등의 다수 국가에도 설치될 예정이다. 현재 다양한 응용에 적용되어 있으며, 서비스에

〈표 1〉 LPWAN 기술 비교[1]

	Proprietary/Unlicensed			Standard/Licensed		
	LoRa [Semtech]	UNB [Sigfox]	RPMA [Ingenu]	LTE-M [CAT-M1]	NB-IoT [CAT-NB1]	EC-GSM
Spectrum	Unlicensed Sub-GHz	Unlicensed Sub-GHz	Unlicensed 2.4GHz	Licensed LTE in- bands	Licensed LTE 3 modes	Licensed GSM Bands
Modulation	CSS	FSK	DSSS	QPSK QAM	pi/4 QPSK pi/2 BPSK	GMSK
Data Rate	<50kbps(DL/UL)	100bps	15kbps	<1Mbps(DL/UL)	<170kbps(DL) <250kbps(UL)	<140kbps(DL/UL)
Channel BW	125-500KHz	100Hz	1MHz	1.08MHz	180KHz	200KHz

Preamble (19 bits)	Frame Sync & Header (29 bits)	Device ID (32 bits)	Payload (0-96 bits)	Msg Auth Code (16-40 bits)	FCS (16 bits)
-----------------------	----------------------------------	------------------------	------------------------	-------------------------------	------------------

(a) Uplink

Preamble (91 bits)	Frame Sync & Header (13 bits)	Error Correcting Code (32 bits)	Payload (0-64 bits)	Msg Auth Code (16 bits)	FCS (8 bits)
-----------------------	----------------------------------	------------------------------------	------------------------	----------------------------	-----------------

(b) Downlink

(그림 1) Sigfox Frame Format[2]

따라 payload 크기는, GPS좌표에 6바이트, 온도 보고 서비스에 2바이트, 속도보고와 물품상태보고에 1바이트, 생존여부 표현에 0바이트 등을 사용하고 있다.

나. Sigfox PHY

단말 소비 전력의 최적화를 위하여, 상향 데이터를 위한 단순한 구조의 UNB(Ultra Narrow Band) 물리계층 기술을 적용하여, 100Hz의 대역폭으로 BPSK 모듈레이션을 사용하여 broadcast한다. 송신시 100Hz에 비해 충분히 넓은 대역에서의 FH(Frequency Hopping)과 반복 전송으로 송신 신뢰성을 개선한다.

송수신 신호의 대역이 작을수록 오실레이터의 정밀도가 중요하다. 특히 UNB와 같이 아주 작은 대역의 신호에 대해서는 높은 정밀도가 요구되어 단말 가격에 부담요소가 될 수 있다. Sigfox는 비대칭 구조의 LPWA 네트워크 특성을 이용하여, 단말은 임의 주파수로 상향 데이터를 송신하고, 기지국이 SDR(Software Defined Radio) 개념을 활용하여 수신신호를 검출한다. 기지국은 상향 데이터 수신으로 검출한 주파수로 하향 데이터를 송신하여 주파수 동기 문제를 해결한다. Sigfox 하향 데이터는 GFSK를 적용하여 단말의 부담을 최소화 하였다.

다. Sigfox MAC

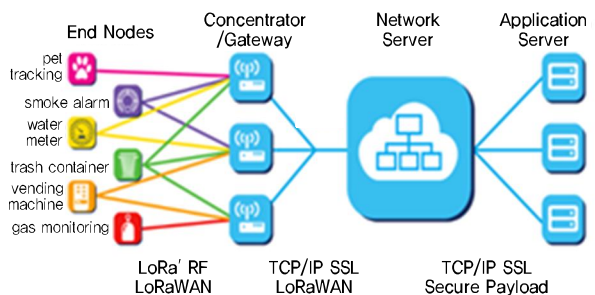
UNB 노드는 ALOHA 프로토콜과 유사하게 채널 점유에 대한 확인없이 송신한다. 둘의 차이는 연속적인 시간과 주파수 영역에서 Random access를 한다는 것이다. 이때 신뢰도 개선을 위해서 서로 다른 주파수로 3번

재전송한다. 따라서 매체 확인을 위한 에너지 소모가 없고, 시간 동기가 필요하지 않기때문에 비컨이 없으며, 오실레이터의 정밀도에 대한 엄격한 제한이 없어지는 장점이 있다.

2. LoRaWAN

가. 개요

LoRaWAN의 게이트웨이는 단말과 네트워크 서버 사이에서 단순 메시지 전달기능으로서 'star-of-stars' 구조이다. (그림 2)와 같이 이 구조는 단말에서 게이트웨이까지의 LoRaWAN 무선 인터페이스가 중단되고, 프로토콜은 네트워크 서버에서 중단된다. 따라서 복수의 게이트웨이가 네트워크 서버에 접속되며, 단순 메시지 전달기능을 위한 IP forwarding으로 연결된다. 최대 MAC payload의 크기는 비면허대역의 특성을 고려하여 250바이트를 넘지 않는다.



(그림 2) LoRaWAN Architecture[3]

나. LoRaWAN PHY

LoRaWAN은 LoRa alliance의 규격으로서, 물리계층은 semtech사의 LoRa칩 규격을 따른다. LoRaWAN

〈표 2〉 LoRa Modem Performances 예[4]

Bandwidth (kHz)	Spreading Factor	Rate (bps)	Sensitivity (dBm)
125	6	9380	-122
125	12	293	-137
250	6	18750	-119
250	12	586	-134
500	6	3750	-116
500	12	1172	-131

PHY의 CSS(Chirp Spread Spectrum) 기술은 레이더에 사용되던 고전적인 CSS기술을 통신에 활용한 것으로서, 프랑스 회사에서 개발한 기술을 semtech사에서 인수하여 LoRa로 사업화하였다. 이 기술은 Sigfox의 UNB기술과는 대비되는 접근 방법으로서 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)와 같이 데이터 전송률보다 훨씬 넓은 대역을 사용하여 장거리 전송에 필요한 수신감도에 대한 제한을 완화한다. 심볼을 수신부와 동일한 시퀀스로 확산하는 DSSS의 경우와 달리, CSS 기술은 하나의 심볼의 전송 중에 지속적인 반송주파수 변화를 통해 확산 효과를 얻는다. 〈표 2〉는 LoRa 모뎀의 확산에 따른 성능 예이다.

900MHz대역 비인가 주파수 대역에 대한 대한민국의 규정에 의하면 917MHz부터 923.5MHz의 대역을 허가 없이 사용할 수 있는데, LoRaWAN은 〈표 3〉과 같이

〈표 3〉 한국의 LoRaWAN 주파수 밴드[5]

Center frequency (MHz)	Bandwidth (kHz)	Maximum EIRP output power(dBm)	
		For end-device	For gateway
920.9	125	10	23
921.1	125	10	23
921.3	125	10	23
921.5	125	10	23
921.7	125	10	23
921.9	125	10	23
922.1	125	14	23
922.3	125	14	23
922.5	125	14	23
922.7	125	14	23
922.9	125	14	23
923.1	125	14	23
923.3	125	14	23

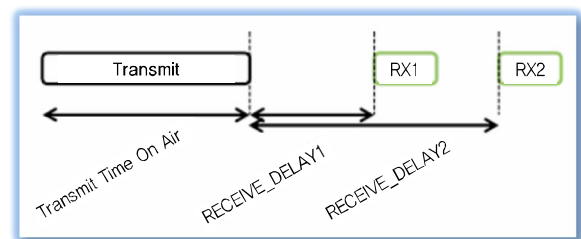
920.9MHz부터 923.3MHz를 규격에 반영하고 있다. 〈표 3〉의 적색 점선 사각형은 우리나라에서 LoRaWAN 서비스를 제공하는 SKT에서 사용하는 주파수 채널을 나타낸다.

다. LoRaWAN MAC

LoRaWAN의 MAC은 저전력과 응답특성에 따라 선택할 수 있는 class A/B/C의 3종으로 구성된다.

Class A는 Sigfox와 유사한 특성으로서, 단말의 저전력 특성 극대화를 위해 단말 주도의 상향 통신에 최적화되어 있다. 단말은 송신할 데이터가 있을 때만 상향 데이터를 발생하고, 하향 데이터는 상향 데이터를 수신한 경우에만 가능하며, 상향데이터 수신 후 일정시간 후 미리 정의된 채널로 하향 데이터를 송신한다. (그림 3)은 Class A 방법을 설명한 그림으로서, 단말 데이터 송신 후 'RECEIVE_DELAY1'시간이 경과하면 상향채널과 동일한 RX1 채널을 통해 하향 데이터 송신이 시작되고, 'RECEIVE_DELAY2'시간이 경과하면 별도 지정된 RX2 채널(한국은 921.90MHz/DR0(SF12, 125KHz))을 통해 하향 데이터를 송신할 수 있다. 이 방법은 Sigfox와 동일하게, 단말의 상향 데이터 전송시도가 없으면, 기지국은 하향 데이터를 전송할 수 없다는 단점이 있다.

Class B는 Class A의 단점을 보완하여, 하향 데이터 송신을 위한 별도의 창을 추가하여, 예정된 시각에서 기지국이 주도하는 하향데이터 통신이 가능하도록 하였다. 또한, 저전력과 주기적인 하향데이터 유무 확인을 위한 저전력을 위해 단말과 게이트웨이 간 동기를 위한



(그림 3) Class A 상하향 데이터 송수신[6]

비컨을 사용한다.

Class C는 상하향 데이터 송수신 창을 항상 열어둔 상태로서, 송신하지 않는 순간에는 늘 수신이 가능하다. 이 방법은 가장 많은 전력을 소모하는 방법으로서 전원이 공급되는 단말에 적용한다.

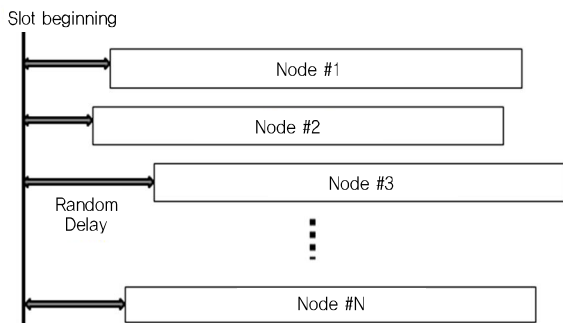
LoRaWAN 규격에 정의된 채널접근 방법은 비인가주파수 대역에 대한 나라별 규정에 따라서 대부분 duty cycle 조건을 따르나, 우리나라 대역은 LBT 조건을 따른다.

3. RPMA-Ingenu

RPMA(Random Phase Multiple Access)는 On-Ramp Wireless사의 독자개발 기술로서, 2015년 Ingenu로 사명을 변경하고, 32개 핵심특허 기반의 유일한 생산자이면서 유일한 공급자로서 독자적인 사업을 진행하고 있다. RPMA는 2.4GHz ISM밴드를 사용하는 DSSS기반의 Slotted ALOHA 프로토콜을 적용한 기술로서, 송신을 위해 코딩된 데이터는 Gold Code로 확산하여 송신한다. Gold Code의 확산계수는 $2k(2 \leq k \leq 13)$ 이다. 상하향 통신은 반이중통신으로 에너지 제약이 없는 하향통신은 보다 높은 출력을 사용할 수 있어서, 하향에 비해 작은 SF를 적용한다.

(그림 4)와 같이 각 디바이스에 대한 송신 시간에 대한 지연으로 random multiple access를 수행한다.

Random 지연을 통해 각기 다른 시간에 도착한 신호



(그림 4) RPMA Multiple Access 예[7]

들에 대해, gold code 특성을 활용하여 각각의 신호들을 수신한다.

III. 면허대역 LPWA 기술동향

면허대역 LPWA기술은 <표 1>과 같이, MTC 디바이스를 위한 LTE 기술인 LTE-M, GSM 확장인 EC-GSM 그리고 LTE 기술을 저전력 디바이스에 최적화한 NB-IoT 등 세 가지 유형의 표준화된 기술로 구분할 수 있다. 특히 NB-IoT는 LTE 기술을 활용하여 만들었으나, LTE에 대한 후위 호환성을 제공하지 않으므로 LTE와는 다른 새로운 기술이라고 할 수 있다. 다음 <표 4>는 Release 8, LTE Cat-4(50/150 Mbps rate)의 모뎀 복잡도를 100%로 가정할 때의 각 버전 간의 복잡도를 비교한다.

<표 4> Milestones[8]

	Release 12 Cat-0	Release 13 Cat-M1	Release 13 Cat-NB1
Peak rate(UP/Down)	1/1 Mbps	1/1 Mbps	200/200 kbps
Modem complexity	40%	20%	<15%

1. LTE-M(LTE-Cat. M1)

비면허대역 LPWA 기술만이 적용 가능한 상황에서 LTE기술을 MTC 디바이스 요구사항에 최적화하여 최근까지 가장 현실적인 대안으로 제시된 면허대역 LPWA 기술이다. 이 기술은 LTE기술 및 주파수 자원의 재활용이 가능하고, OFDM기반의 향상된 신뢰성이 가장 큰 장점이다. 그러나 여전히 LTE기술의 주요 특성을 유지하고 있어서 복잡한 제어체계 적용에 따른 SW 복잡도, 망운용 비용 증가와 저속서비스에 최적화되지 않은 고비용 기술(OFDM) 사용 그리고 높은 신규 서비스/시장 진입장벽이 단점으로 제시된다.

2. NB-IoT(LTE-Cat. NB1)

3GPP의 NB-IoT에 대한 본격적인 작업이 2015년에

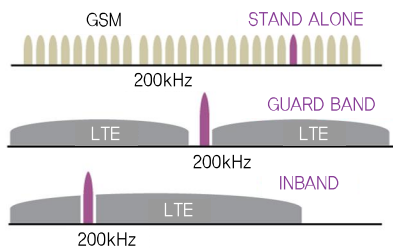
시작되어, 2016년 6월에 핵심 규격이 완성되었다. 상용 제품과 서비스는 2016년 말 또는 2017년 초에 공급이 가능할 것으로 예측하고 있다. 이와 같이 빠른 진행이 가능한 것은 기존 LTE 기술의 재활용을 통해 새로운 규격과 장비 개발을 위한 시간을 대폭 줄일 수 있었기 때문이다.

완성된 NB-IoT 표준은 MTC 디바이스를 위한 NB-IoT 요구사항 만족을 위하여, 하향 OFDMA, 상향 SC-FDMA, 채널코딩, 인터리빙 등 기존의 LTE 기술을 폭넓게 재활용하고, 무선 인터페이스를 통한 시그널링 오버헤드의 최소화, 적절한 보안(security), 배터리 수명 개선을 위한 접속상태 UEs에 대한 핸드오버 제한 등 LTE-Advanced와 관련된 많은 기능들은 제외하였다.

NB-IoT는 지연에 민감한 데이터를 서비스 대상에 포함하지 않기 때문에 지연과 관련된 QoS에 대한 개념도 존재하지 않는다. 따라서 실시간 IMS와 같이 전송률 보장을 필요로 하는 서비스도 제공하지 않는다. NB-IoT를 통해 모든 유형의 응용에 대하여 단일의 무선 인터페이스로 최고의 성능을 추구하던 LTE 기술 정책이, 지연에 민감하지 않은 작은 데이터 패킷은 별도로 분리하여 최적화된 무선인터페이스를 제공하는 정책으로 변화하게 되었다.

(그림 5)와 같이 NB-IoT 물리계층은 stand alone 동작, guard band 동작, in-band 동작 모드 등 세가지 모드가 제공된다.

NB-IoT 프로토콜 스택은 LTE를 기본으로 하되, MTC 디바이스를 위한 요구에 맞춰 최소화하고, NB-



(그림 5) NB-IoT 확산 시나리오[9]

IoT를 위한 필요 기능을 보완하였다. 이 과정에서 LTE의 검증된 구조와 절차가 재사용되고 사용되지 않는 특성은 제거되었다. 그리하여 프로토콜 스택은 NB-IoT를 위해 최적화된 LTE의 형상으로 볼 수 있다.

Release 13의 NB-IoT기술은, MTC 요구사항에 최적화하여 3GPP에서 새롭게 만든 무선 인터페이스이다. 드물게 발생하는 작은 패킷에 최적화되고, 이 특성에 맞지 않는 이동성 관리기능은 제거되었다. 이러한 방법으로 배터리 소모량을 최소화하고 가격 경쟁력을 높였다. Release 14에서 NB-IoT를 위한 측위, multicaservice 등의 확장을 위한 노력은 계속 진행될 예정이다 [12][13].

IV. LPWA 표준화 동향

1. IETF LPWA 표준화 동향

IETF LPWAN WG은 2016년 10월 14일 결성되었으며, 현재 <표 5>의 진행 일정으로 표준화를 진행하고 있다. 최근 주요 활동은 LPWA와 관련된 기술들을 소개하며 IETF의 역할이 필요한 공통의 특성과 실질적인 필요성을 확인하는 Informational 문서와 LPWA 네트워크를 통한 CoAP/UDP/IPv6 packet 전달을 위한 compression과 fragmentation을 가능하도록 하는 Standards Track document를 생산한다. 특별히 이 작업은 자원제약 디

<표 5> Milestones[10]

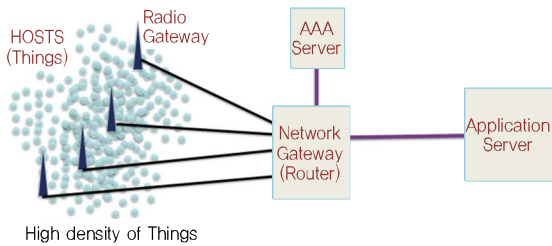
Date	Milestone
Nov 2016	-Adopt LPWAN specifications as WG item
Dec 2016	-Adopt IP/UDP compression and fragmentation mechanism as a WG item
Jan 2017	-Adopt CoAP compression mechanism as a WG item
Apr 2017	-Submit LPWAN specification to the IESG for publication as an Informational Document
May 2017	-Submit IP/UDP compression and fragmentation mechanism to the IESG for publication as a Proposed Standard
Jul 2017	-Submit CoAP compression mechanism to the IESG for publication as a Proposed Standard

바이스로 구성되는 성상의 네트워크 구조를 대상으로 한다.

현재 9개의 draft 문서가 있으며, 8개는 informational 문서이고, 1개가 standard track 문서이다. WG의 standard-track 작업 결정을 위해, LoRaWAN, NB-IoT, Sigfox, Wi-SUN와 같은 기존의 LPWA기술 등 충분한 배경정보를 제공하고, 기존 IETF protocol stack 과 통합에 대한 gap 확인을 목적으로 8개의 informational 문서와, 6LowPAN fragmentation header 조차도 감당할 수 없는 극한의 LPWAN에 최적화된 fragmentation header에 대한 standard track 문서 등 9개의 draft 문서에 대한 논의가 진행되고 있다.

LoRaWAN, NB-IOT, Sigfox 등의 LPWA 네트워크 기술들이 서로 유사한 architecture이면서도 서로 다른 용어를 사용하고 있다. (그림 6)의 전형적인 LPWA 네트워크 구성 요소들에 대한 용어들을 <표 6>으로 정리하였다.

- Host: sensor나 actuator와 같이 디바이스나 thing, Gateway에 접속



(그림 6) LPWAN Architecture Terminology[11]

- Radio Gateway: 대규모 host의 무선 접속 지점
- Network Gateway(Router): Radio Gateway가 Internet 연결을 위해 거치는 교차점
- AAA Server: 사용자 인증을 위한 서버
- Application Server: 네트워크의 응용을 위한 서버

2. IEEE LPWA 표준화 동향

IEEE802.15 working group은 2016년 9월회의에서 LPWA 응용에 대한 적합성 검증 및 백서 작성을 목적으로 IG LPWA를 신규 결성하였다. 검증의 대상은 IEEE 표준뿐만 아니라 모든 후보기술들이 포함되며, 작성된 백서는 새 표준 개발 여부를 판단하기 위한 근거로 활용할 예정이다.

2016년 11월회의에서는 IG 목표를 최종확정하고, 응용 예와 미국과 유럽의 비면허대역 주파수 사용에 대한 규제에 대해 논의하였다. 서로 다른 표준과 기술을 잘 비교하기 위해서는 잠재적으로 중요하게 사용될 예를 잘 정의하는 것이 중요하다. 또한, 나라와 지역에 따라 다른 비면허대역 주파수에 대한 규제를 잘 이해하는 것도 중요하다. 미국의 FCC와 유럽의 ETSI에 대해 검토되었고, 다른 지역, 국가에 대한 도움도 기다리고 있다.

향후 일정은 2017 1월회의에서 usage scenarios 와 channel models 확정 및 evaluation criteria에 대해 논의하고, 2017 3월회의에서 evaluation criteria 확정 및 LPWA 기술적인 사양에 대해 논의하며, 2017년 7월 회

<표 6> LPWAN Architecture Terminology[11]

Function / Technology	LoRaWAN	NB-IoT	Sigfox	IETF
Sensor, Actuator, device, object	End Device	User Equipment	End Point	Thing (HOST)
Transceiver Antenna	Gateway	Evolved Node B	Base Station	RADIO GATEWAY
Server	Network Server	Serving-Gateway	Service Center	Network Gateway (ROUTER)
Security Server	Join Server	Home Subscriber Server	Registration Authority	AAA SERVER
Application	Application Server	Packet Data Node Gateway	Network Application	APPLICATION SERVER

의에서 IG 보고서에 대해 최종적으로 논의할 예정으로, 이전의 신규 표준개발을 목적으로 하던 활동에 비해 상당히 빠르게 진행되고 있다.

V. 결론

지연에 민감하지 않은 소량의 데이터를 전달하기에 적합한 LPWA 네트워크 기술이 주목받고 있다. Sigfox, LoRaWAN 등 비표준의 비면허대역 중심의 기술을 중심으로 개발 및 확산이 진행되고 있으며, 최근에는 MTC디바이스를 위한 LTE-M과, LPWA 응용에 최적화된 NB-IoT의 규격화 완료로 면허대역에서의 다양한 LPWA 네트워크 서비스를 제공할 수 있게 되었다.

본고에서는 대표적인 비면허대역의 LPWA네트워크 기술과 면허대역의 LPWA기술에 대해 알아보고, 최근 진행 중인 LPWA 표준화 동향을 정리하였다.

약어 정리

CSS	Chirp Spread Spectrum
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FH	Frequency Hopping
UE	User Equipment
UNB	Ultra-narrow band
LPWA	Low Power Wide Area network
LTE	Long Term Evolution(So called '4G' wireless)
MTC	Machine-Type Communication
NB-IoT	Narrow Band IoT, a new 'clean slate' narrow band wireless standard in R13 3GPP
SDR	Software Defined Radio
3GPP	3rd Generation Partnerships Project,

standards body overseeing wireless cellular standards

참고문헌

- [1] "LTE Evolution for IoT Connectivity," Nokia white paper, June 2016.
- [2] J.C. Zuniga and B. Ponsard, "Sigfox System Description," LPWAN@IETF97, Nov. 14th, 2016.
- [3] "LoRaWAN What is It," LoRa Alliance, Nov. 2015.
- [4] SX1272/73 - 860 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver datasheet, Semtech, June 2013.
- [5] LoRaWAN Regional Parameters-LoRaWAN1.0.2, July 2016.
- [6] LoRaWAN specification 1.0.2, 2016. 7.
- [7] D. Howard and T. Myers, "Dynamic Direct Sequence Spread Spectrum Proposal 802.15.4TG4g SUN," 15-09-0356-01-004g-dynamic-dsss-draft-proposal-for-sun-presentation. 2009. 5. 6.
- [8] D. Maidment, Michal Stala, and M. Midholt, "LTE Cat-M, A Cellular Standard for IoT," ARM white paper, 2016.
- [9] A. Ratilainen, "NB-IoT presentation for IETF LPWAN," LPWAN@IETF97, Nov. 14th, 2016.
- [10] IETF LPWAN WG, <https://datatracker.ietf.org/wg/lpwan/charter/>
- [11] A. Minaburo and C. Gomez, draft-minaburo-lpwan-gap-analysis-02, LPWAN@IETF97, Nov. 14th, 2016.
- [12] Ericsson, "New WI proposal for L1/L2 eMTC and NB-IoT Enhancements," RP-160878, 3GPP TSG RAN Meeting #72, June 2016. [Online]. Available: http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_72/Docs/RP-160878.zip
- [13] Vodafone, Huawei, and HiSilicon, "NB-IoT enhancements Work Item proposal," RP -160813, 3GPP TSG RAN Meeting #72, June 2016. [Online]. Available: http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_72/Docs/RP-160813.zip