

스마트시티 적용을 위한 초대규모 IoT 네트워크 기술 동향

박 태 준

한국전자통신연구원

I. 서 론

최근 스마트시티에 대한 관심이 급속히 높아지면서 스마트시티에 존재하는 다양한 특성의 IoT 데이터를 안정적으로 수집할 수 있는 초대규모 스마트시티 네트워크 기술에 대한 관심도 높아지고 있다. 지금까지의 도시 네트워크는 서비스별로 분리된 사일로(Silo) 형태로 운영되고 있었으나, 최근의 스마트시티는 데이터 융합을 통한 신규 서비스 개발 및 부가가치 창출이 용이한 통합 네트워크를 추구한다. 스마트시티 통합 네트워크는 초대규모의 데이터 전달뿐만 아니라 다양한 서비스의 특성에 적합하게 데이터를 안정적으로 제어할 수 있는 관리가 필요하다.

스마트시티의 초대규모 데이터를 수용하는 방안으로는 5G의 mMTC(massive MTC) 기술과 기존의 LPWA(Low Power Wide Area) 네트워크 기술 등을 고려할 수 있다. 그러나 5G mMTC 기술은 단시간 스마트시티에 적용할 수 있는 준비가 어려워서, 기존의 LPWA 네트워크 기술이 당분간 현실적인 대안으로 제시되고 있다.

다양한 특성의 초대규모 스마트시티 데이터를 수용하려면 기존의 최선형 데이터수집 방법과 더불어 안정적으로 네트워크를 유지하기 위한 데이터 발생에 대한 차별적 제어가 필요하다. 스마트시티 데이터의 특성을 고려하여 경쟁기반의 임의접근 방법에 대한 제한된 수준의 관리기술과 주기적인 데이터의 관리를 통한 제한된 자원의 효율적 활용 기술에 대한 고려가 필요하다.

본 논문은 스마트시티 적용을 위한 초대규모 IoT 네트워크 기술에 대해 논하며, 2장에서는 서비스에 따라 달라지는 요구사항과 최근의 기술동향에 설명하고, 3장에서는 스마트시티의 초대규모 IoT 네트워크에 대한 정의와 단말, RF 게이트웨이, 네트워크 제어기 등의 구성요소를 설명하

며, 4장에서는 스마트시티 구축을 위한 기술, 네트워크, 서비스 사례 등에 대해 설명하며, 5장에서 마무리한다.

II. 스마트시티의 IoT 네트워크 개요

2-1 스마트시티를 위한 IoT 네트워크 요구사항

가로등 제어, 쓰레기 관리와 같은 전통적인 스마트시티 응용뿐만 아니라, 가스/수도 검침, 전기검침, 자산감시 등 도시에서 이루어지는 모든 서비스가 스마트시티 서비스 범위로 확대되고 있다. 이전의 네트워크는 사람이 유일한 서비스 대상이어서 요구하는 특성이 단순했으나, 지금은 스마트시티의 모든 사물이 서비스의 대상이 되어 요구하는 특성을 하나의 특징으로 설명하기는 어렵게 되었다. <표 1>은 스마트시티 서비스에 따라 간섭, 빈도 등 7가지 예로 제시한 요구사항들을 비교하였다^[1]. 표의 전파간섭은 비면허대역을 이용하는 타 시스템 사용자의 간섭이다. 사용자 간섭은 동일 시스템 사용자간의 충돌을 의미하며, 시간당 100회 이하는 약, 시간당 1,000회 이하는 중, 시간당 100,000회 이상은 강으로 표기하였다. 신뢰도는 상향메시지의 전송 성공률로서 90% 이상은 최선, 99% 이상은 보통, 99.9% 이상은 고신뢰로 분류하였다. 이와 더불어 발생하는 데이터 빈도, 데이터의 크기, 서비스가 허용하는 데이터의 전달지연, 망 구축 특성에 따른 데이터의 전달 거리 등의 요구사항 및 특성을 표기하였다.

타 시스템에 의한 전파간섭이 강하거나 동일 시스템 사용자에 의한 간섭이 강한 경우는 서비스가 요구하는 데이터의 신뢰도와 허용하는 전달지연에 적합하게 간섭 및 충돌에 대응하는 적절한 제어 절차를 포함하는 것이 필요하다. 데이터의 빈도는 동일 시스템 사용자의 간섭과 밀접한 관련성이 있어서 둘 간의 관련성을 고려한 적절한 제어가 필요하다.

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 스마트시티 혁신성장동력 프로젝트 지원으로 수행되었음(과제번호 18NSPS-B150119-01).

〈표 1〉 스마트시티 서비스에 대한 요구사항^[1]

	전파 간섭*	사용자 간섭**	데이터 빈도	크기	신뢰도***	지연	거리
건물 출입 통제	중	약	시간당 1회 이상	소	고신뢰	< 0.25 s	< 1 km
문, 창문 감시	중	중	시간당 1회 이상	소	고신뢰	< 10 s	< 1 km
자산 추적	중	중	시간당 1회	소	보통	< 10 s	< 1 km
건강 모니터링	중	중	시간당 1회 이상	대	고신뢰	< 10 s	< 1 km
가축 모니터링	약	약	시간당 1회 주기적	소	최선	< 10 min	< 10 km
토양 온습도	약	약	시간당 1회 주기적	소	최선	< 60 min	< 10 km
조명제어	중	중	시간당 1회 이상	소	보통	< 0.25 s	< 1 km
애완동물 추적	강	강	시간당 1회 이상 주기	중	최선	< 1 min	< 5 km
가로등 제어	강	강	시간당 1회	소	보통	< 1 min	< 10 km
전기 검침	강	강	하루 1회	소	고신뢰	< 1 min	< 50 km
가스 수도 검침	강	강	하루 1회 주기적	소	보통	< 1 day	< 10 km
스마트 주차	강	강	시간당 1회 이상	소	고신뢰	< 1 min	< 10 km
화제감지기	중	중	하루 1회	소	고신뢰	< 10 s	< 1 km
구조물 안전	강	강	하루 1회	소	고신뢰	< 1 min	< 5 km
자판기 관리	강	강	하루 1회	중	보통	< 60 min	< 10 km
자판기 결제	강	강	시간당 1회 이상	대	고신뢰	< 10 s	< 10 km
쓰레기통 관리	강	강	하루 1회	소	최선	< 60 min	< 10 km
누수 탐지	중	중	하루 1회	소	고신뢰	< 1 min	< 1 km

* 이종 기기간 간섭, ** 동일 서비스 사용자간 충돌, *** 상향 메시지 전송 성공률

따라서 수용하는 서비스의 다양성과 함께 요구하는 특성도 다양하며, 만족스러운 서비스를 위한 안정적이고 예측이 가능한 서비스 품질확보를 위한 적절한 제어 방안이 필요하다.

2-2 스마트시티를 위한 IoT 네트워크 기술

앞의 예와 같이, 스마트시티를 위한 초대규모 IoT 네트워크 기술로 LPWA 기술이 고려될 수 있다. 적용할 수 있는 대표적인 LPWA 기술은 〈표 2〉와 같이 면허대역과 비면허대역 기술로 구분이 가능하다. 본 절은 대표적인 비면허대

역 LPWA 기술인 Sigfox, Semtech, Ingenu 사의 기술을 소개하고, 면허대역 기술은 우리나라에도 적용할 수 있는 LTE-M (CAT-M1)과 NB-IoT(CAT-NB1) 기술에 대해서 설명한다.

2-2-1 비면허대역 LPWA 기술

Sigfox사의 LPWA기술은 상향 채널로 100 Hz, 하향 채널로 600 Hz의 비대칭의 대역폭을 사용하며, 좁은 대역의 사용에 따른 잡음을 줄여서 전송거리를 늘린다. UNB(Ultra Narrow Band) 채널은 상향에만 적용하여 기지국에만 신호 검출과

〈표 2〉 LPWA 기술^{[2],[3]}

	비면허대역			면허대역		
	UNB [Sigfox]	LoRa [Semtech]	RPMA [Ingenu]	LTE-M [CAT-M1]	NB-IoT [CAT-NB1]	EC-GSM
Spectrum	Sub-GHz	Sub-GHz	2.4 GHz	LTE in-bands	LTE	GSM Bands
Modulation	FSK	CSS	DSSS	QPSK QAM	$\pi/4$ QPSK, $\pi/2$ BPSK	GMSK
Channel BW	100/600 Hz	125~500 kHz	1 MHz	1.08 MHz	180 kHz	200 kHz

주파수 동기기능을 포함한다. 따라서 단말은 동기에 대한 부담을 덜고, 저가격 구현 및 저전력 동작에 유리하다. Sigfox 기술의 단점으로 플랫폼에 대한 의존도와 UNB 적용에 따라 전송속도가 제한적이고, 하향 전송은 제한적으로만 허용된다. 따라서 이 기술은 작은 크기의 데이터를 전달하는 서비스로서 수신확인이 필요 없는 서비스에 적합하다.

Semtech사의 LoRa 기술은 CSS(Chirp Spread Spectrum)를 사용하며, 확산계수 조절로 다양한 전송속도와 전송거리 특성을 나타낼 수 있다. 높은 확산계수를 사용한 대역확산 기법을 사용함에 따라 기존 IEEE802.15.4 기반의 통신기술(BPSK, QPSK, FSK)에 비해 열악한 통신환경에서 상대적으로 우수한 전송 성공률을 나타낸다. Semtech사의 IPR인 FSK 기반의 Chirp 발생기술을 적용하여 저비용의 저전력 특성에 유리하다.

RPMA는 주파수 효율과 전송 성능은 좋으나, 주요 기술의 대부분이 Ingenu사의 IPR 기술로서 폐쇄적 특성이 강해서 범용 서비스로 확산은 어렵다.

2-2-2 면허대역 LPWA(NB-IoT) 기술

3GPP가 4G NB-IoT의 진화된 기술로 제시하는 5G mMTC 기술은 배터리로 10년 이상 동작할 수 있는 저전력 디바이스를 1 km²당 100만개 수용하는 것으로 제시하고 있다. 그러나 아직 구체적으로 가용한 기술이 없으므로, 면허대역 기술을 선호하는 경우는 <표 2>의 LTE-M과 NB-IoT 등의 기술이 적절한 대안으로 활용될 수 있다.

LTE-M 기술은 MTC 디바이스에 적합한 LTE기술(CAT-M1)이라고 할 수 있다. 이동성 등 LTE기술의 특징을 유지하면서도 MTC 디바이스에 적용토록 경량화된 기술이나 NB-IoT나 비면허대역 LPWA 기술과 같이 장기간 배터리로 동작하기는 어렵다.

NB-IoT 기술은 LTE-M보다 더 경량화된 기술로서 LTE 시스템을 재사용하나, 이동성과 같은 LTE 특유의 특징을 포기한 초경량 기술로서 비면허대역 LPWA 기술과 비슷한 수준으로, 배터리로 10년 이상 운용이 가능한 초저전력 기술이다.

2-3 스마트시티의 초대규모 IoT 네트워크

3GPP의 5G mMTC는 4G NB-IoT에서 진화를 계획하고

있다. 이를 고려하여 3GPP 기술을 선호하는 기관들은 당분간 5G mMTC를 대신하여 LPWA(NB-IoT) 기술의 활용을 제안하고 있다⁴⁾. [그림 1]은 에릭슨이 제안한 NB-IoT를 활용한 스마트시티의 초대규모 IoT 네트워크 모델로서, 서비스 장소에 따라 예상되는 커버리지의 차이를 나타낸다. 서비스 시나리오는 장애물이 없이 전송에 의한 신호 감쇄만 고려되는 옥외 서비스, 실내 장애물에 의한 신호감쇄가 10~30 dB가 추가되는 아파트 실내, 지하공간으로 인한 35~55 dB의 추가 신호감쇄 있는 지하 공간 등 다양한 서비스 시나리오를 고려하고 있다. 이 시나리오는 <표 1>의 서비스 특성에서 거리만을 고려하고 있다.

데이터 중심의 스마트시티를 위한 초대규모 IoT 네트워크는 5G mMTC와 같이 높은 밀도의 디바이스 수용과 함께 다양한 특성의 스마트시티 데이터를 효과적으로 수용할 수 있는 방안도 필요하다. 초대규모 디바이스가 경쟁기반의 임의접근 방법으로 네트워크에 접속을 시도하는 경우에는 서비스의 특성에 따라 안정적이고 예측 가능한 접속 성능을 기대할 수 있는 적절한 접속제어가 필요하다. 임의 시간에 발생하는 데이터에 대한 차별적인 접근 제어나, 주기적으로 발생하는 데이터의 사전 할당에 의해 충돌 또는 간섭 최소화 등의 관리 방법이 필요하다.

3GPP가 스마트시티를 위한 초대규모의 IoT 네트워크로 제시하는 5G mMTC 기술은 배터리를 사용하여 10년 이상 동작할 수 있는 저전력 디바이스를 1 km²당 100만개 수용하는 KPI를 제시하고 있다. 스마트시티를 위한 초대규모 IoT 네트워크는 mMTC와 같이 높은 밀도의 저전력 디바이스를 수용할 수 있는 특성과 더불어 다양한 요구사항의 서비스가 혼재하는 상황에서도 안정적으로 네트워크를 유지할 수 있는 제어기술이 필요하다. 우선순위관리와 자원예약 등의 기



[그림 1] 도시의 초대규모 IoT 커버리지⁵⁾

술은 다양한 특성의 스마트시티 데이터를 적절히 관리하기 위한 최소한의 제어방안으로 요용하게 활용할 수 있다.

Ⅲ. 스마트시티의 초대규모 IoT 네트워크 기술

초대규모 IoT 네트워크에 대해 다양하게 정의하고 있다. 본 논문의 스마트시티를 위한 초대규모(massive) IoT 네트워크 기술은 스마트시티에서 요구되는 다양한 도메인(교통, 환경, 에너지, 안전 등)의 이질적인 데이터를 차별적으로 제어하여 안정적으로 수집할 수 있도록 네트워크를 유지할 수 있는 기술로 정의한다. 서비스 특성에 따라 우선순위 관리를 통한 자원접근을 제어하거나 주기적 발생데이터의 분산을 유도하여 충돌을 회피하는 자원예약 등의 기술을 활용한다.

아래의 [그림 2]는 국가전략프로젝트 스마트시티에 적용되는 초대규모 IoT 네트워크의 개념도이다. 초대규모 IoT 디바이스, RF 게이트웨이, 제어기로 구성되어 지능형 디바이스 및 지능형 에지 게이트웨이와 같은 지능형 에지 서비스와 스마트시티 데이터 허브와 연계하여 운용된다.

스마트시티 초대규모 IoT 네트워크의 단말은 스마트시티의 간헐적 또는 주기적 대규모 데이터를 안정적으로 송수신하기 위한 차별적 또는 예약 자원접근 기능과 배터리를 사용하여 10년 이상 운용이 가능한 수준의 저전력 운용이 가능해야 한다.

스마트시티 초대규모 IoT 네트워크의 RF 게이트웨이는 LoRaWAN의 star-of-star 형상과 같이, 초대규모의 저전력 단말이 높은 밀도로 설치되어 운용되는 스마트시티 초대규모 IoT 네트워크의 RF 게이트웨이는 RF 중단기능을 한다. 데이터가 간헐적으로 발생하고, 대규모 단말이 저전력 모드로 운용되는 경우에도 이동성 관리의 부담 없이 저비용으로 구축하고 운용할 수 있다.

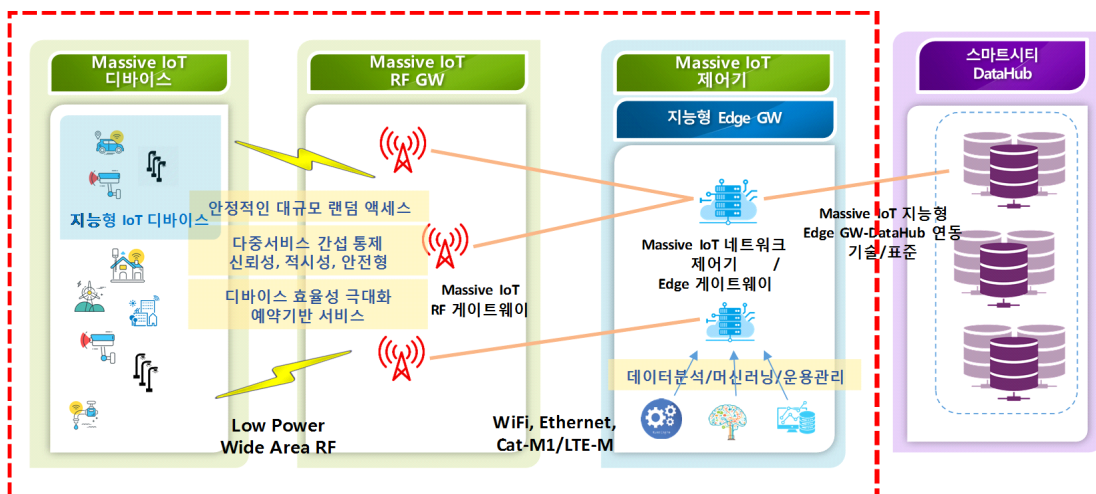
스마트시티 초대규모 IoT 네트워크의 네트워크 제어기는 초대규모 단말이 간헐적 또는 주기적인 데이터의 전달을 시도할 때, 안정적으로 네트워크를 운용하고 만족하는 성능을 제공하기 위하여 서비스가 요구하는 특성에 따라 차별적으로 우선순위를 관리하고, 예측 가능한 전송을 위해 자원 예약 기능을 제공한다. 또한 10년 이상 장기간 배터리 운용이 필요한 단말에 대한 저전력 단말의 전력 제어 기능을 제공한다.

Ⅳ. 스마트시티를 위한 초대규모 IoT 네트워크 구축

스마트시티의 초대규모 IoT 네트워크 구축을 위한 데이터 수집 및 수집한 데이터 전달을 위한 네트워크 구성을 설명하고, 수집한 데이터를 활용하는 서비스를 설명한다.

4-1 스마트시티 IoT 데이터 수집

스마트시티 서비스가 다양한 것처럼 데이터가 발생하는

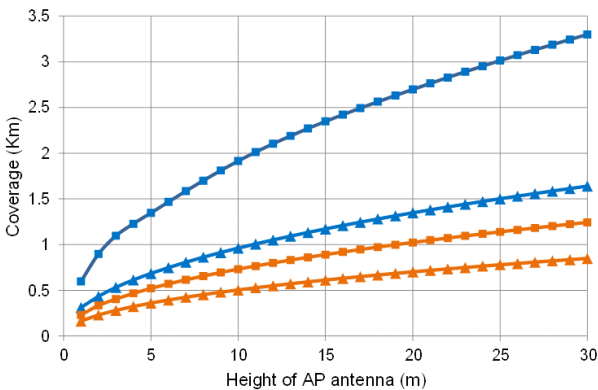


[그림 2] 스마트시티를 위한 초대규모 IoT 네트워크 개념도(출처: 국가전략프로젝트 스마트시티)

환경의 물리적인 특성도 다양하다. 따라서 스마트시티의 IoT 데이터를 성공적으로 수집하기 위해서는 서비스에 따른 물리적인 특성에 대한 고려가 필요하다. [그림 3]은 물리적인 특성에 의한 차이를 설명하는 일례로서 일반적인 개별주택의 경우로서 지면아래의 수도미터에서 발생하는 IoT 디바이스의 데이터를 무선으로 전송하는 경우의 통신거리를 보인다⁶⁾. 무선통신을 위한 중심주파수는 920 MHz, 송신출력은 14 dBm으로 가정하고, 수신감도 -140 dBm일 때 안정적인 데이터 수신을 위한 20 dB의 여유를 포함하여 실험을 통해 확인한 특성을 반영한 시뮬레이션 결과이다. 실험을 위해 매설된 수도 계량기 보호통의 단면은 타원형이며, 지표면으로 노출되는 커버는 금속인 경우와 금속이 아닌 경우가 있다. 따라서 타원형의 방향과 동일방향인 경우와 직각인 경우를 고려하였고, 보호통의 커버가 금속인 경우와 금속이 아닌 경우로 구분하였다. [그림 3]의 아래 두 선은 커버가 금속인 경우이고, 위의 두 선은 금속이 아닌 경우이다.

4.2 스마트시티 IoT 네트워크

스마트시티를 위한 초대규모 IoT 네트워크 기술은 스마트시티의 다양한 서비스 특성에 따라 최소한의 QoS를 관리할 수 있는 우선순위와 자원예약을 제어할 수 있는 기술을 포함한다. 또한 원활한 데이터 융합이 가능한 스마트시티 네트워크를 구축하기 위해서는 물리적으로 각기 서로 다른 특징의 서비스에 대해 예측 가능한 네트워크 품질을 제공하기 위해 서비스가 요구하는 특성에 맞는 적절한 제어 방법이 필요하다.

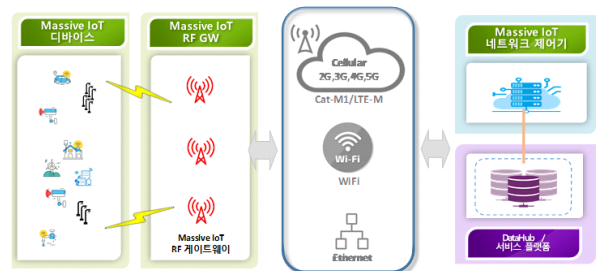


[그림 3] 지면아래 수도미터의 전송거리⁶⁾

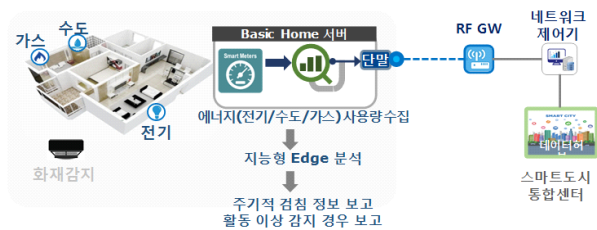
스마트시티의 IoT 네트워크는 IoT 디바이스, RF 게이트웨이, 제어기 등의 컴포넌트와 디바이스에서 발생하는 데이터를 수집하는 RF 네트워크와 수집한 데이터를 전달하는 인프라 네트워크 등으로 구성된다. 스마트시티 초대규모 IoT 네트워크의 특성을 결정하는 RF 네트워크는 앞서 설명한 수도검침과 같은 스마트시티의 데이터를 수집하는 무선통신 기술로서 서비스의 요구사항과 특징을 반영하여 결정된다. 스마트시티 초대규모 IoT 네트워크의 경제적이고 신속한 구축과 확장을 위해 활용되는 인프라 네트워크는 RF 네트워크를 통해 수집하는 또는 RF 네트워크를 통해 디바이스로 전달하는 데이터를 위해 사용된다. [그림 4]의 예로 설명하면 RF 네트워크는 디바이스와 RF 게이트웨이 간이고, 인프라 네트워크는 RF 게이트웨이로부터 제어기를 포함한 네트워크를 의미한다. 다음의 [그림 4]는 이러한 구성을 나타낸다.

4.3 스마트시티 데이터를 활용한 생활안전 서비스

[그림 5]는 데이터를 활용한 생활안전 서비스의 예이다. 안전한 개인정보 보호를 위해 전기, 수도, 가스 등의 검침정보는 맥내에서 관리되고, 필요한 수준의 검침 정보만을 데이터허브로 제공한다. 이 과정에서 필요한 경우에는 맥내



[그림 4] 스마트시티 IoT 네트워크 구성



[그림 5] 에너지 검침을 활용한 생활안전 서비스

정보를 통해 기본적인 생활상황을 파악하여 부가 서비스를 제공한다. 건강이 좋지 않거나 홀로 거주하는 세대원의 도움이 필요한 징후나 상황을 파악하여 복지서비스와 연계할 수 있다.

V. 결론 및 향후 고려사항

최근 스마트시티의 IoT 네트워크를 구성하는 다양한 특성의 초대규모 디바이스를 제어하고 안정적으로 데이터를 수집할 수 있는 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 논문은 스마트시티의 초대규모 IoT 네트워크의 요구사항과 기술에 대해 고찰하고, 다양한 특성의 데이터가 혼재하는 스마트시티에 적합한 초대규모 IoT 네트워크를 정의하며, 진행하고 있는 사례를 간략히 소개하였다.

향후 지속가능한 스마트시티의 초대규모 IoT 네트워크 운영을 위해서는 상호운용성의 확보가 중요하다. 이를 위해서는 국가전략프로젝트를 통해 개발하는 표준의 보급 및 확산을 위한 적극적인 노력이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Joerg Robert, IEEE 802.15-16-0770-05-lpwa, LPWA Use Cases.
- [2] 박태준, "LPWA 기술", 차세대 이동통신기술 워크샵/한국통신학회, 2016년 5월.
- [3] 박태준, "IoT LPWA 기술 동향", 한국전자과학기술전자파 기술電磁波技術 第27卷 第4號(通卷 第116號) pp. 29-31 (3 pages) 2016년 7월.
- [4] Paving the path to Narrowband 5G with LTE Internet of Things (IoT), Qualcomm Technologies, Inc. Jun. 2016. <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/paving-the-path-to-narrowband-5g-with-lte-iot.pdf>
- [5] Massive IoT Coverage in the City, Ericsson Mobility Report, Jun. 2017.
- [6] T.-J. Park, S.-S. Joo, E.-H. Kim, IEEE 802.15-18-0295-01-004w, LPWA frame Repeater for Harsh Environment Applications.

≡ 필자소개 ≡

박 태 준



works, WPAN

1992년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 8월: 충남대학교 정보통신공학과 (공학 박사)
 1994년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원 재직중
 [주 관심분야] LPWAN, Massive/Critical IoT Networks, WPAN