

실내 게이트웨이 설치 환경에서 P2P 기반의 LoRa 통신 성능 측정 실험에 관한 연구

강경우, 이은규
인천대학교 정보통신공학과
e-mail : eklee@inu.ac.kr

Performance Measurement of LoRaWAN Communications using P2P Mode with Indoor Gateway Placement

Kyungwoo Kang, Eun-Kyu Lee

*Dept. of Information and Telecommunication Engineering, Incheon National University

요 약

LoRa 는 저전력 및 장거리 작동을 위해 설계된 새로운 ISM 대역 무선 기술이며, LoRaWAN 은 LoRa 에서 정의된 광역 네트워크 프로토콜이다. 본 논문에서는 실제 환경에서 LoRaWAN 기술의 통신 성능을 검증하는 것을 목표로 한다. 이를 위해, 캠퍼스 내에 LoRaWAN 실험을 위한 실제 테스트 베드를 구축했다. 사용자들이 사용하는 실제 환경을 만들기 위해 통신 게이트웨이를 실내에 설치하였고, 캠퍼스의 실내외 다수 위치에서 데이터를 P2P 방식으로 게이트웨이에게 전송한다. 실험에서는 대역폭, 코딩 속도, 확산 계수 및 전송 전력을 변화시켰으며, 성능 검증을 위해 신호대잡음비와 패킷 전송률을 측정하여 결과를 분석한다.

1. 서론

사물인터넷 (Internet of Things, IoT) 기술 개발이 고도화됨에 따라 대규모로 IoT 기기를 설치하는 예제들이 주변에서 관찰되고 있다. 이러한 움직임은 네트워크의 최상의 성능을 위해 무선 네트워크의 노드에 제한된 에너지의 중요성을 증가시킨다. 이러한 추세에 따라 적은 전력으로 장거리 통신을 가능하게 하는 LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) 기술이 많은 관심을 얻고 있다. LPWAN 기술은 많은 IoT 기기들이 소량의 데이터를 전송한다는 요구사항을 반영하여, 데이터 전송 속도를 최소한으로 하면서, 데이터 전송 거리를 수 Km 단위까지 확대시킬 수 있다. 이미 통신 칩 회사들은 상업용 제품을 출시하면서 해당 기술이 실제 환경에서 적용될 수 있는 기회를 제공한다. 다만, LPWAN 기술들이 기술문서에서 보여지는 통신 거리 및 통신 성능을 실제 환경에서 안정적으로 제공할 수 있는지는 아직 완전하게 검증되지 않았다. 본 논문에서는 LPWAN 기술 중에 하나인 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)의 통신 성능을 검증하고자 한다. 이를 위해, 캠퍼스 내에 LoRaWAN 실험을 위한 실제 테스트베드를 구축하여 실험하였고 실험 결과 내용을 분석함으로써 실제 환경에서의 LoRaWAN 성능을 검증한다.

2. LPWAN 와 LoRaWAN

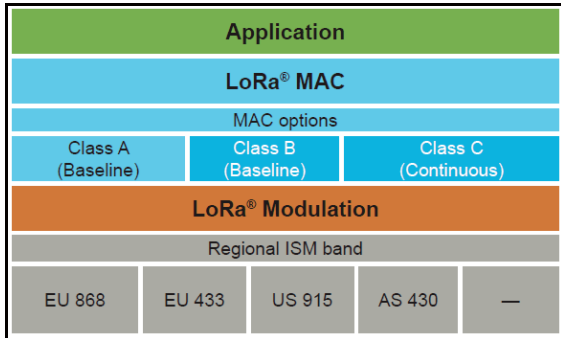
저전력 광역 네트워크 (LPWAN)는 배터리로 작동하는 센서와 같은 것들 중에서 낮은 비트율로 장거리

통신이 가능하도록 설계된 무선 통신 네트워크 유형이다. LPWAN 기술 분야에서 LoRaWAN, SigFox 및 LTE-M 과 같은 경쟁 기술들이 소개되고 있다.

LoRa 는 장거리 통신 링크를 생성하는데 사용되는 물리 계층 기술이며 이를 위해 무선 변조 기술을 지원한다 [1]. 기존의 무선 시스템은 저전력이라는 목표를 달성하기 위해 효율적인 FSK (Frequency Shifting Keying) 변조를 물리 계층으로 사용합니다. LoRa 는 FSK 기술과 더불어 차프 확산 스펙트럼 (chirp spread spectrum, CSS) 변조를 기반으로 동작한다. LoRa 의 장점은 장거리 통신을 가능하게 한다는 것이다. 단일 게이트웨이를 설치함으로써 도시 전체 또는 최대 수십 Km 의 지역을 커버 할 수 있다. 통신 범위는 특정 위치의 환경이나 장애물에 따라 크게 달라 지지만, LoRa 는 다른 표준화 된 통신 기술보다 큰 연결 예산을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인해 최소한의 인프라 설비로 우리 나라 전체에 설치되는 IoT 기기에 쉽게 연결될 수 있다. LoRa 의 또다른 장점은 433MHz, 868MHz 또는 915MHz 와 같은 비면허 대역 주파수를 사용한다는 것이다.

LoRaWAN 은 장거리 통신 링크를 가능하게 하는 LoRa 물리 계층 위에서 동작하는 통신 프로토콜과 시스템 아키텍처를 정의한다 [2]. 그림 1 은 LoRaWAN 표준 프로토콜을 보이며, 이는 LoRa MAC 부분을 포함한다. 프로토콜 및 네트워크 아키텍처는 노드의 배터리 수명, 네트워크 용량, 서비스 품질, 보안 및 네트워크가 제공하는 다양한 애플리케이션을 결정하는데 가장 큰 영향을 미친다. LoRaWAN 의 네트워크 아

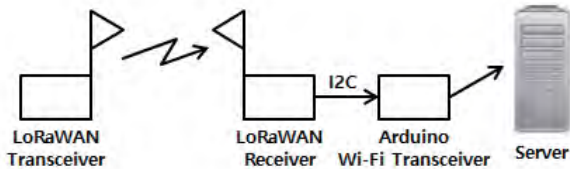
키텍처는 장거리 중앙집중형 (Star, 스타) 아키텍처를 사용한다. 장거리를 지원하기 위한 기존의 무선 기술을 주로 메쉬 네트워크 아키텍처를 사용해왔으며, 이는 개별 노드가 다른 노드의 정보를 전달함으로써 네트워크의 통신 범위와 셀 크기를 늘리는 방법이다. 그러나, 노드가 다른 노드로부터 정보를 수신 및 전송할 때 복잡성을 증가시키고 네트워크 용량을 줄이며 배터리 수명을 단축시키는 단점을 갖는다. LoRaWAN 에서 사용되는 장거리 스타 아키텍처는 장거리 연결이 가능하게 하는 동시에 배터리 수명을 보존하는데 가장 적합한 기술로 인식되고 있다.



(그림 1) LoRaWAN 표준 프로토콜 [1]

3. 실험 환경 구축

실험에는 3 개의 아두이노 장비, 2 개의 Libelium LoRaWAN 900 모듈, 그리고 1 개의 아두이노 WiFi 통신 모듈을 사용한다. 송신 노드는 하나의 아두이노 장비에 LoRaWAN 모듈로 연결하여 만들어진다. 수신기 노드는 LoRaWAN 모듈과 WiFi 모듈을 사용하는 두 개의 아두이노 장비로 구성된다. 두개의 아두이노 장비는 I2C 통신을 사용하여 연결된다. 송신 노드는 LoRaWAN 수신 노드로 패킷을 전송하며, 수신 노드는 패킷을 수신하여 데이터를 검출하고 통신 성능 검증 위한 정보를 기록하여 데이터베이스 서버로 전달한다. 그림 2 는 실험을 위한 테스트 시스템 구조를 보여준다.



(그림 2) 실험을 위한 시스템 구조도

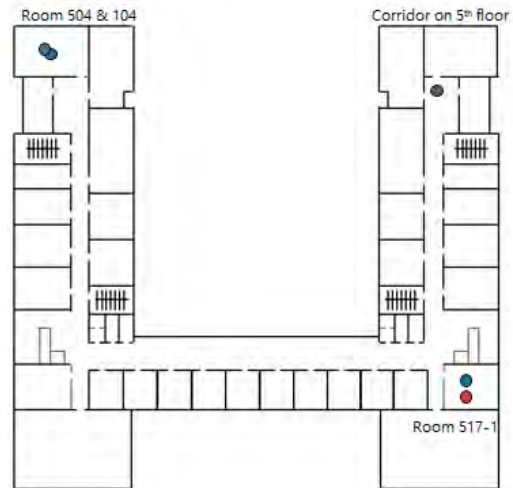
실험 연구는 인천대학교 송도캠퍼스에서 두 가지 다른 환경(실외 및 실내)을 구축한 후 수행한다. 그림 3 는 실외 환경 실험을 위한 캠퍼스 지도를 보여준다. 지도내 붉은색 원은 데이터를 수신하는 게이트웨이의 위치를 나타내며, 5 층으로 구성된 정보기술대학관 건물내 5 층 사무실 내에 설치되었다. 파란색 원은 송신 노드의 위치를 알려준다. 송신 노드는 실외에 위치하

며, 송신 노드와 수신 게이트웨이의 거리는 각각 60.1m, 66.47m, 198.73m 및 406.84m 이다.



(그림 3) 실외 실험 수행을 위한 캠퍼스 지도와 송신 노드 및 수신 노드의 위치

그림 4 는 실내 실험이 수행된 정보기술대학관 건물의 평면도를 보여준다. 데이터를 수신하는 게이트웨이는 빨간색 원으로 표시되며 이는 실외 실험때의 게이트웨이의 위치와 동일하게 건물내 5 층 실험실에 설치된다. 파란색 원들은 송신 노드를 표시하며, 모두 건물내에 설치된다. 게이트웨이가 설치된 실험실에 하나의 송신 노드가 배치되었고, 이 외에 5 층에 2 개 그리고 1 층에 1 개의 송신 노드가 추가적으로 배치되었다.



(그림 4) 실내 실험 수행을 위한 건물의 평면도와 송신 노드 및 수신 노드의 위치

무선 통신을 위해 Libelium 사의 LoRaWAN 900 모듈을 사용하며 [3], 4.5 dBi 안테나가 아두이노 장비에 연결된다. 900/915 MHz ISM 주파수 대역을 사용하는 LoRaWAN 모듈은 LoRaWAN v1.0, 클래스 A 를 사용하고, 송신 전력은 최대 +14dBm 으로 설정된다. 기술 문서에 따르면, 통신 거리는 교외 지역에서는 최대 15km, 도심 지역에서는 최대 5km 에 이른다. 그림 5

는 실험에 사용된 노드를 보여준다.



(그림 5) 실험에 사용된 노드: Libelium 사의 LoRaWAN 900 모듈과 4.5 dBi 안테나를 사용한다.

4. 성능 평가

무선 통신 기술의 성능 평가를 위해 아래 2 개의 값을 측정한다. 신호대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio, SNR)는 원하는 신호의 레벨을 백색 노이즈의 레벨과 비교하는 척도로 사용되어 왔다. 신호 전력 대 잡음 전력의 비율로 정의되며 흔히 데시벨(dB)로 표시된다. 1:1 보다 큰 비율 (0dB 보다 높음)은 잡음보다 더 많은 신호를 나타낸다.

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right)^2$$

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{A_{signal}} \right)$$

(P: Power. A: Amplitude)

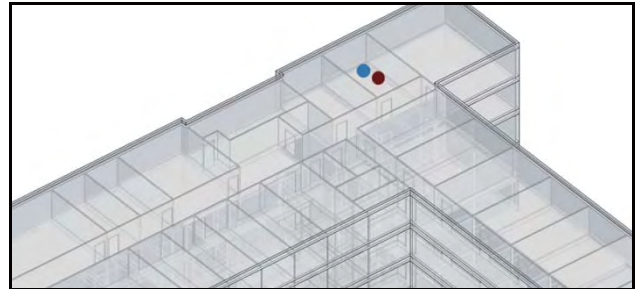
패킷 손실(packet loss)은 컴퓨터 네트워크를 통해 이동하는 하나 이상의 데이터 패킷이 대상에 도달하지 못하는 경우를 나타내며, 전송된 패킷에 대해 손실된 패킷의 백분율로 측정한다.

실험에서는 다음과 같이 4 가지 값들을 변경함으로써 실험 환경을 다르게 설정한다: 대역폭 (Bandwidth, BW), 코딩 속도 (Coding Rate, CR), 확산 계수 (Spreading Factor, SF) 및 출력 전력 (Tx Power, PW). 표 1 에는 본 실험에서 사용된 8 시나리오와 개별 시나리오에서 위 4 개의 값이 어떤 값으로 설정되었는지를 보여준다.

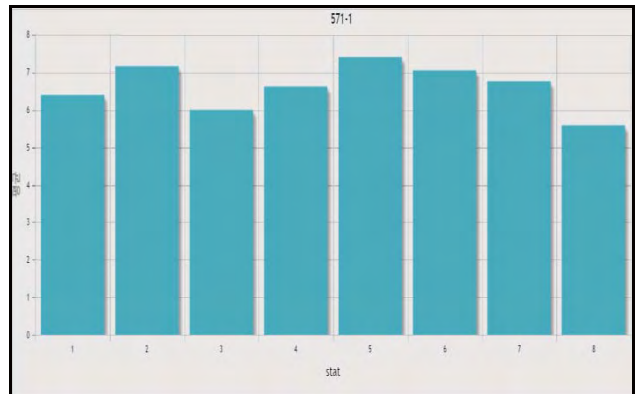
<표 1> 본 실험에서 사용된 파라미터와 이들의 설정값

Stat	BW	CR	SF	PW
1	125	4/5	sf12	2
2	125	4/5	sf12	5
3	125	4/5	sf12	15
4	125	4/5	sf12	20
5	250	4/5	sf12	15
6	500	4/5	sf12	15
7	125	4/8	sf12	15
8	125	4/5	sf7	15

첫 번째 실험(실험 1)에서는 송수신 노드가 동일한 실험실에 설치된 후 수행된다. 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리는 그림 6 에서 보이는 바와 같이 약 0.3m 이며, 그림 7 은 앞에 보인 8 개 실험 시나리오에 대한 SNR 의 실험 결과 값을 그래프로 보여준다. 모든 실험 중에서 송수신간의 통신 거리가 가장 가까우며, 해당 실험 결과는 다른 실험 결과의 비교 기준으로 사용된다.

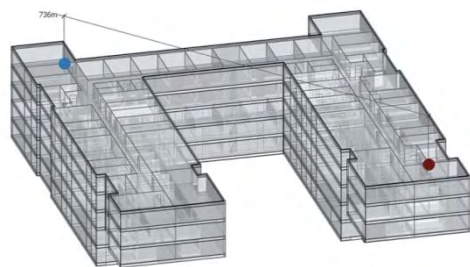


(그림 6) 실험 1 에서 송수신 노드의 위치

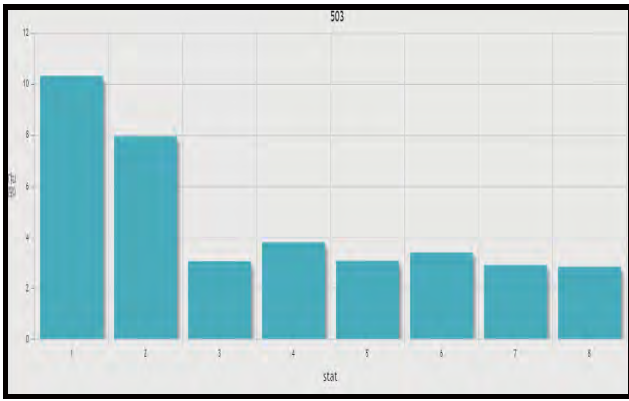


(그림 7) 실험 1 결과: SNR (신호대잡음비)

실험 2 에서는, 송신 노드를 수신 노드의 위치와 같은 층에 배치한다. 그림 8 에서 보이듯이, 송신 노드는 건물 기준 대각선으로 반대편에 위치하고 있다. 두 노드 사이의 거리는 66.47m 이다. 그림 9 는 실험 2 에 대한 SNR 결과 값을 히스토그램으로 표현한다. 처음 2 개의 시나리오 설정에서 SNR 값이 상대적으로 좋은 결과를 보인다.

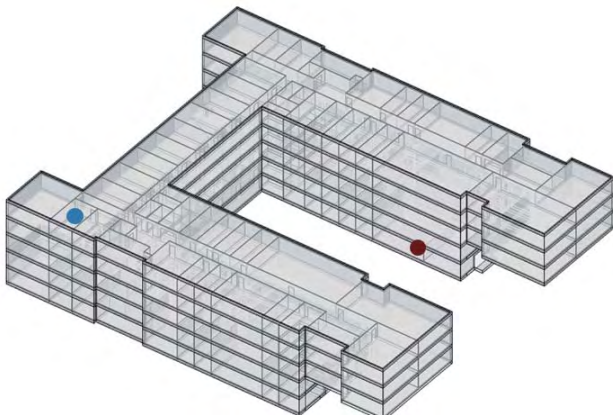


(그림 8) 실험 2 에서 송수신 노드의 위치

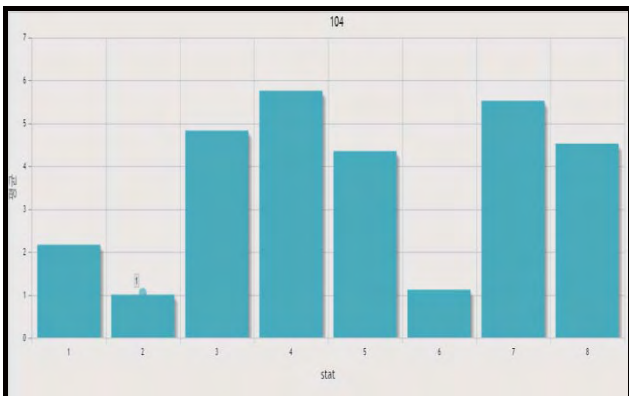


(그림 9) 실험 2 결과: SNR (신호대잡음비)

이전 실험과 같이, 수신 노드의 위치는 실내로 고정시키고, 송신 노드를 건물 기준 대각선으로 반대 방향에 배치한다 (실험 3). 그러나, 실험 3에서는, 그림 10에서 보여지는 바와 같이 송신 노드를 건물의 1층에 설치한다. 송수신 노드 사이의 거리는 80m이다. 그림 11은 실험 3의 결과를 보여준다. SNR 값은 CR 값과 SF 값에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그러나 시나리오 1~4의 결과에서 PW 값이 증가하면 SNR이 증가한다는 것을 보여준다. 더불어 BW 값이 증가함에 따라 SNR 값이 감소하는 것을 확인할 수 있다.



(그림 10) 실험 3에서 송수신 노드의 위치



(그림 11) 실험 3 결과: SNR (신호대잡음비)

5. 결론

본 논문은 LoRaWAN 통신 기술이 기술 문서와 비교하여 실제 환경에서 어떻게 동작할 수 있는지 테스트베드 실험을 통해 그 성능을 검증하였다. 캠퍼스 실내외에 통신 노드를 설치하여 P2P 기반의 통신을 수행하였고, LoRaWAN 통신 기술이 캠퍼스 전체에 대해 충분한 통신 범위를 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 매개 변수와 메트릭 간에 상관 관계를 명확히 밝히는 것은 쉽지 않았지만, 의미 있는 결과를 찾을 수 있었다: 장애물의 수가 증가하고 두 장치 간 거리가 늘어남에 따라 커뮤니케이션의 질이 떨어진다. 지면 제한으로 인해, 실험 결과의 일부만을 논문에 포함시켰다. 사물인터넷 분야의 규모가 커짐에 따라 다양한 무선 통신 기술이 개발되고 있다. 이러한 추세 속에서 우리는 LoRaWAN 기술이 미래의 IoT 시스템을 구축하는데 있어서 중요한 통신 표준의 역할을 할 것으로 기대하고 있다. 무선 통신기술의 하나로써 LoRaWAN의 신뢰성을 향상시키기 위한 연구는 좋은 미래 연구 방향의 하나가 될 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (20168530050030). 교신저자는 이은규.

참고문헌

- [1] LoRa Alliance, LoRaWAN What is it?-A technical overview of LoRa and LoRaWAN, November 2015.
- [2] N. Sornin, M. Luis, T. Eirich, T. Kramp, and O. Hersent, "LoRaWAN specification v1.0.2," July 2016.
- [3] LoRaWAN module, <https://www.cooking-hacks.com/lorawan-ra-dio-shield-for-arduino-900-915-mhz>
- [4] J. Pataejaejaervi, K. Mikhaylov, M. Hamalainen, and J. Iinatti, "Evaluation of LoRa LPsWAN technology for remote health and wellbeing monitoring", Int'l Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), March 2016.
- [5] K. Mikhaylov, J. Pataejaejaervi, and T. Haenninen, "Analysis of Capacity and Scalability of the LoRa Low Power Wide Area Network Technology", European Wireless Conference, May 2016.
- [6] H. G. Schroder Filho, J. Pissolato Filho, V. L. Moreli, "The adequacy of LoRaWAN on smart grids: A comparison with RF mesh technology", IEEE, September 2016.