

LoRa 기반 다중홉 네트워크 성능 측정

어성보, 양진모, 박세웅

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신연구소

sbeo@netlab.snu.ac.kr, jmyang@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr

Performance measurement of LoRa-based multi-hop network

Sungbo Eo, Jinmo Yang, Saewoong Bahk

Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University

요약

LoRa 기반 다중홉 네트워크를 야외 현장에 설치하였을 때의 네트워크 성능을 측정하였다.

I. 서론

무선 센서 네트워크(WSN)는 센서를 무선망으로 연결한 것으로, 재난 감지, 인프라 모니터링, 야생동물 추적 등의 목적으로 사용될 수 있다. 특히 센서 노드가 사람이 쉽게 접근하기 어려운 험지에 위치하거나 네트워크가 넓은 지역에 퍼져있는 경우, 저전력 광역통신망(LPWAN)에 적합한 무선 통신 기술을 사용하는 것이 적절하다. 그 대표적인 예가 LoRa로, 전력 소모가 비교적 낮으며 전송거리가 수 km에 달한다는 특징이 있다.

LoRa 네트워크는 일반적으로 하나의 강력한 게이트웨이가 많은 수의 저전력 단말과 직접 연결되는 성형 구조(star topology)를 사용한다. 그러나 게이트웨이는 전력 소모가 비교적 크기 때문에 배터리로 작동하기에 적합하지 않다. 한편 고정된 위치의 단말 노드 간의 통신을 허용하여 메시 네트워크를 형성한다면 저전력을 유지하면서도 단일홉(single hop)만으로 커버할 수 없는 매우 넓은 지역을 서비스하는 것이 가능하게 된다.[1]

본 논문에서는 LoRa 기반 다중홉(multi hop) 네트워크를 실제 야외에 설치하였을 때 네트워크 성능이 어떻게 나타나는지를 확인하고자 한다. 노드의 하드웨어 구성과 네트워크 설정을 소개하고, 관악산과 속리산에서 실험한 결과를 분석한다.

II. 네트워크 설정

실험에 사용한 LoRa망의 구성 요소로는, 고정 위치에 설치되어 메시 노드 역할을 하는 “라우터”와, 단말 노드로써 자유롭게 이동할 수 있고 어플리케이션 데이터를 생성하는 “트래커”가 있다. 라우터는 게이트웨이용이 아니라 단말용 트랜시버인 SX1272[2]를 사용한다. 특히 루트 노드는 수신한 LoRa 패킷을 외부 서버로 전송할 수 있도록 인터넷에 연결하고, GNSS 모듈을 사용해 네트워크가 UTC에 정확히 동기화되도록 한다. 한편 트래커는 GNSS 위치 및 시각 정보를 12분마다 LoRa 패킷에 담아 송신한다. 트래커는 하나의 패킷 안에 여러 개의 GNSS 데이터를 담아 보낼 수 있고, 만약 라우터로부터 ACK을 받지 못한 경우 반복하여 재송신한다. 해당 LoRa망에서는 게이트웨이를 쓰지 않기 때문에 LoRaWAN[3]을 그대로 사용할 수 없고, 대신 [4]에서 제안한 MAC 프로토콜을 사용한다. 통신 주파수는 923.1 MHz 단일 채널을 사용하고, 기본적으로 SF는 12, 대역폭은 125 kHz를 사용한다. 라우터는 20mW 송신전력과 3 dBi 또는 8 dBi 무지향성 안테나를 사용하고, 트래커는 PCB 안테나를 사용한다.

III. 관악산 능선 실험

관악산 능선 실험에서는 정상에 루트 노드를 설치하고 능선을 따라 내려가는 길에 라우터를 설치하였다. 이때 라우터는 가급적 정상에 있는 루트와 LoS를 유지하도록 설치하였다. 네트워크 구성도는 다음과 같다.

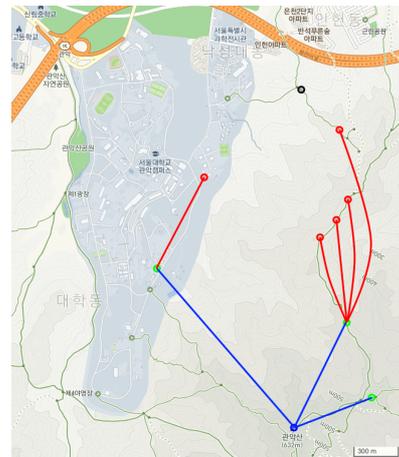


그림 1. 관악산 능선 실험 네트워크 구성

파란 원은 루트 노드, 녹색 원은 루트의 자식 노드, 빨간 원은 루트의 자식이 아닌 후손 노드, 검은 원은 네트워크에 참여하지 못한 노드를 의미한다.

루트를 제외한 각 노드는 1시간에 하나의 패킷을 생성하여 루트로 보내도록 하였다. 네트워크에 거의 또는 전혀 접속하지 못한 두 개의 노드를 제외한 나머지 8개 노드들이 네트워크에 모두 참여하기까지 걸린 시간은 4시간 10분 가량이었다. 이후 배터리가 모두 방전되기까지 50시간 가량 네트워크가 정상 작동을 확인하였다. RSSI와 SNR이 양호한 범위 내에 들기 위해서는 노드 간 거리보다는 LoS 여부가 더욱 중요한 것으로 나타났다.

IV. 관악산 계곡 실험

관악산 계곡 실험에서는 계곡 상류에 루트 노드를 설치하고 하류 방향으로 내려가는 길에 라우터를 설치하였다. 이때 라우터 간에는 LoS가 립하지 않았다. 네트워크 구성도는 다음과 같다.



그림 2. 관악산 계곡 실험 네트워크 구성

12개의 트래커를 여러 사람이 나누어 들고 1시간 동안 이동하였을 때, 트래커가 송신한 GNSS 데이터 중에 실제로 서버에 도착한 비율을 계산하였다. 송신 데이터 총 60개 중에 49개를 수신하여 수신율이 81.7%로 나타났다으며, 트래커별 수신율의 경우 절반 이상의 트래커에 대해 100% 수신율을 보였다.

V. 속리산 계곡 실험

속리산 계곡 실험에서는 계곡 하류에 루트 노드를 설치하고 상류 방향으로 올라가는 길에 라우터를 설치하였다. 이때 라우터 간에는 LoS가 성립하지 않았다. 네트워크 구성도는 다음과 같다.

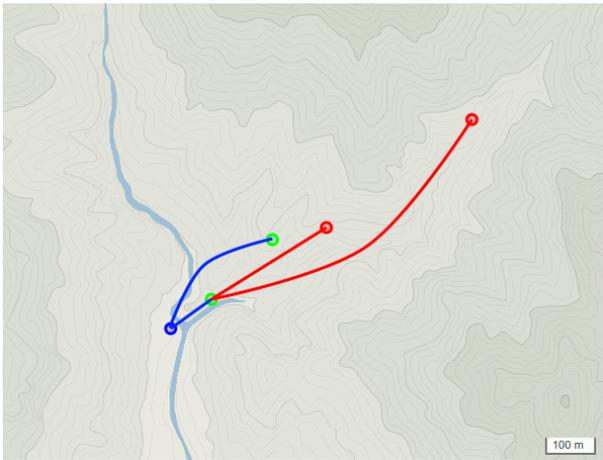


그림 3. 속리산 계곡 실험 네트워크 구성

8개의 트래커가 1시간 동안 송신한 GNSS 데이터 총 40개 중에 서버가 26개를 수신하여 수신율이 65%로 나타났다. 트래커별 수신율의 경우 절반 이상의 트래커에 대해 80% 이상의 수신율을 보였다.

VI. 결론 및 논의

본 논문에서는 LoRa 기반 다중홉 네트워크를 야외에 설치하고 네트워크 성능을 측정하였다. 실험 결과 대부분의 경우에 패킷 전달률이 높게 나타났다으나, 일부 단말의 경우 패킷 전달률이 매우 낮았다. 단순 실험 수행 문제 등을 제외한다면, 산지 특성에 따른 NLoS 환경과 안테나의 지향성이 원인으로 작용했을 것이라 생각된다. 여건상 한계로 인해 라우터를 지

면으로부터 높이 설치하지 못했는데, 산지에는 고개가 많고 나무와 수풀도 많아 거리가 조금만 떨어져도 NLoS 상황에 처하기 쉬웠고[5], 특히 계곡에서 해당 문제가 두드러지게 나타났다. 한편 고이득 안테나는 무지향성이더라도 전파가 특정 방향으로 집중되는데, 산지에서는 각 노드별 고도가 크게 차이나기 때문에 때로는 고이득 안테나보다 오히려 저이득 안테나가 더 높은 수신률을 보여주는 경우가 있었다. 만약 야생동물 추적이라는 목적으로 무선 센서 네트워크를 산지에 설치한다면 이러한 점을 사전에 고려하여 커버리지가 예상만큼 충분히 넓게 나타나는지 확인하여야 할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 생물다양성 위협 외래생물 관리 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (2021002280002)

This work was supported by Korea Environment Industry & Technology Institute(KEITI) through Exotic Invasive Species Management Program, funded by Korea Ministry of Environment(MOE) (2021002280002)

참고 문헌

- [1] G. Leenders, G. Callebaut, G. Ottoy, L. Van der Perre, L. De Strycker, "An Energy-Efficient LoRa Multi-Hop Protocol through Preamble Sampling for Remote Sensing," *Sensors* 2023, 23, 4994. <https://doi.org/10.3390/s23114994>
- [2] SX1272/73 - 860 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver Rev. 4, 2019.
- [3] "LoRaWAN Specification v1.0.3," <https://loro-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawan1.0.3.pdf>
- [4] 이성보, 양진모, 박세웅, "야생동물 위치추적 단말기를 위한 에너지 효율적 LoRa MAC 프로토콜 설계," 2023년도 한국통신학회 동계종합학술발표회.
- [5] Y. S. Meng, Y. H. Lee, B. C. Ng, "Study of propagation loss prediction in forest environment," *Progress In Electromagnetics Research B*, 2009, 17, 117-133. <https://doi.org/10.2528/PIERB09071901>